

Российская Академия наук
Ордена Ленина Сибирское отделение

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМЕНИ Г.И.БУДКЕРА

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ 2011

НОВОСИБИРСК 2012

Оглавление

Введение.....	7
1. Физика элементарных частиц	13
1.1 Детектор КМД-3.....	15
1.2 Детектор СНД	16
1.2.1 Состояние детектора и эксперименты на ВЭПП-2000.....	16
1.2.2 Первые результаты экспериментов	17
1.3 Детектор КЕДР.....	20
1.4 Результаты работы детектора КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М	23
1.4.1 Поиск узких резонансов.....	23
1.4.2 Измерение параметров $\psi(3770)$ -мезона.....	23
1.4.3 Измерение параметров $\psi(2S)$ -мезона	24
1.4.4 Измерение массы τ -лептона	24
1.4.5 Заключение	25
1.5 Детекторы для ФВЭ.....	26
1.6 Рентгеновские детекторы.....	26
1.7 Прочие работы.....	26
1.8 Микроструктурные газовые детекторы	27
1.8.1 Двухфазные криогенные лавинные детекторы на основе ТГЭУ	27
1.8.2 Изучение инфракрасных сцинтилляций в газообразном и жидком Ag при криогенных температурах	29
1.8.3 Модернизация системы рассеянных электронов в эксперименте КЕДР.....	29
1.8.4 Участие в коллаборациях	30
1.9 Эксперимент Belle.....	31
1.10.1 Основные результаты	31
1.10.2 Анализ данных эксперимента Belle	31
1.10.3 Модернизация детектора	31
1.10 Эксперимент BABAR.....	37
1.11 Участие в эксперименте ATLAS на Большом Адронном Коллайдере	38
2. Электро- и фотоядерная физика	41
2.1 Эксперименты с внутренними мишенями.....	43
3. Теоретическая физика.....	47
3.1 Сильное взаимодействие.....	49
3.2 CP несохранение	51
3.3 Квантовая электродинамика	52
3.4 Гравитация.....	53
3.5 Астрофизика.....	54
3.6 Нелинейная динамика и хаос, квантовые диссипативные системы	54
4. Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез	57
4.1 Исследования на установке ГДЛ.....	59

4.1.1	Влияние амбиполярных электрических полей на продольные потери плазмы в газодинамической ловушке	59
4.1.2	Результаты первых экспериментов по нагреву плазмы электронным пучком на установке ГДЛ	65
4.1.3	Создание системы ЭЦР нагрева плазмы в газодинамической ловушке ГДЛ	67
4.2	Установка ГОЛ-3	73
4.2.1	Описание и основные режимы работы установки	73
4.2.2	Измерение быстрых флуктуаций плотности плазмы	73
4.2.3	Изучение субтерагерцового излучения плазмы	74
4.2.4	Изучение азимутального вращения плазмы	75
4.2.5	Интерферометр на базе CO ₂ -лазера	76
4.2.6	Анализатор нейтралов перезарядки	77
4.2.7	Компактный детектор нейтронов с цифровой <i>n</i> - γ дискриминацией	78
4.2.8	Развитие методов моделирования диодных систем с плазменными электродами	79
4.2.9	Транспортировка интенсивного электронного пучка субмиллисекундной длительности в магнитном поле пробочной конфигурации	80
4.2.10	Заключение	81
4.3	Теория плазмы	82
4.3.1	Заряженная плазма	82
4.3.2	Теория взаимодействия плазмы с поверхностью	82
4.3.3	Теория плазменного кильватерного ускорения	82
4.4	Инжекторы пучков быстрых атомов и ионов	83
4.4.1	Инжекторы пучков быстрых атомов	83
4.4.2	Разработка мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода	83
5.	Установки со встречными электрон-позитронными пучками	85
5.1	Работа ВЭПП-2000 в режиме круглых пучков	87
5.2	Ускорительный комплекс ВЭПП-4	92
5.2.1	Распределение рабочего времени	92
5.2.2	Физика высоких энергий	93
5.2.3	Работа комплекса ВЭПП-4 на энергии 3,5 ÷ 4 ГэВ	94
5.2.4	Эксперимент Дейтрон на ВЭПП-3	94
5.2.5	Выведенный пучок на ВЭПП-4М	95
5.2.6	Летняя профилактика комплекса ВЭПП-4М	95
5.3	Инжекционный комплекс ВЭПП-5	96
5.4	Линейный индукционный ускоритель ЛИУ-2	97
5.5	Электронно-лучевая сварка	98
5.6	Изготовление квадрупольных линз для NSLS-II	99
5.7	Установка электронного охлаждения	100
5.8	Ускорительный масс-спектрометр	101
5.9	Время жизни ионного пучка при наличии электронов на орбите ионного пучка	101
5.10	Вакуумные системы	102
5.10.1	Вторичная эмиссия и электронные облака	102
5.10.2	Исследования эффективности ультразвуковой мойки алюминиевых камер	104
5.10.3	Вакуумная система бустера NSLS-II	105
5.10.4	Компенсатор для ускорительной структуры XFEL	105
5.11	Работы по электрон-позитронным фабрикам и физике пучков	106
5.12	Магниты для Super-B фабрики КЕК	106
5.13	Бустер NSLS-II	107
5.13.1	Дизайн	107
5.13.2	Магнитная система	108
5.13.3	Вакуумная система	109
5.13.4	Диагностика	109

5.13.5 Модульная сборка бустерного кольца в ИЯФ	110
5.13.6 Источники питания	110
5.13.7 Система впуска-выпуска	112
5.13.8 Система управления	113
6. Синхротронное излучение и лазеры на свободных электронах	117
6.1. Введение	119
6.2 Работы на пучках СИ из ВЭПП-3	119
6.2.1 Станция - "ВЗРЫВ" (Экстремальные состояния вещества)	119
6.2.2 Станция "LIGA-технология и рентгеновская литография"	121
6.2.3 Станция "Аномальное Рассеяние" и "Прецизионная Дифрактометрия"	123
6.2.4 Станция "Рентгенофлуоресцентный элементный анализ"	129
6.2.5 Станция "Дифрактометрия с использованием жесткого рентгеновского излучения"	131
6.2.6 Станция "Рентгеновская микроскопия и томография"	134
6.2.7 Станция "Дифракционное кино"	136
6.2.8 Станция "EXAFS -спектроскопия"	137
6.3 Работы на пучках СИ из ВЭПП-4	142
6.3.1 Развитие методического обеспечения метрологической станции «Космос»	142
6.4 Работа с пучками терагерцового излучения	143
6.4.1 Новосибирский терагерцовый лазер на свободных электронах	143
6.4.2 Примеры экспериментов на пучках ТГц излучения	143
6.4.3 Третья очередь Новосибирского ЛСЭ	147
6.4.4 Результаты 2011 года и планы на 2012 год	148
6.5 Разработка и создание специализированных генераторов СИ	149
6.6 Конференции, совещания, семинары	150
7. Радиофизика и электроника	153
7.1 Источники питания электрофизических установок	155
7.1.1 Источники стабилизированного тока	155
7.2 Высоковольтные источники постоянного стабилизированного напряжения	156
7.2.1. Источники высоковольтного питания атомарных инжекторов для диагностики и нагрева плазмы в плазменных установках	156
7.2.2. Источники высоковольтного питания электронных трубок	157
7.2.3. Импульсные источники питания электромагнитов ускорительных комплексов ...	157
7.3 Разработка измерительных систем и устройств автоматизации физических экспериментов	158
7.4 Исследования, связанные с моделированием и решением электростатических и электродинамических задач ускорительной физики	161
7.5 Подготовка физического оборудования ускоряющих станций коллайдера комплекса "NICA"	161
7.5.1. Резонаторы ВЧ системы №2	163
7.5.2. Резонаторы ВЧ системы №3	164
7.5.3. Система водяного охлаждения	166
7.5.4. Мультипакторный разряд	166
7.5.5. Подавление мультипакторного разряда	166
7.5.6. Конструкция резонатора	166
7.6 Высокочастотный инжектор микротрона-рекуператора	166
7.7 Разработка высокочастотной системы для мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода	168
7.8 Новая ВЧ система 174 МГц для накопителя БЭП	169
7.9 Пассивный одномодовый резонатор на 816 МГц	169
7.10 Сборка и испытание ВЧ генератора для ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ"	169
7.11 Доработка ВЧ системы накопителя ВЭПП-4	170

7.12 Работы по модернизации ВЧ системы микротрона для ЛСЭ	170
8. Мощные электронные ускорители.....	171
8.1 Развитие модельного ряда и повышение эксплуатационных характеристик ускорителей ЭЛВ.....	173
8.1.1. Стенд на базе промышленного ускорителя ЭЛВ-6 с выпуском сфокусированного электронного пучка в атмосферу	176
8.1.2. Наноконструкции для медицины.....	176
8.2 Ускорители электронов типа ИЛУ и их применение	178
8.2.1 Поставки ускорителей	178
8.2.2 Совершенствование ускорителей.....	179
8.2.3. Разработка новых технологий	179
9. Физика для медицины	181
9.1 Статус работ по БНЗТ	183
9.2 Детекторы рентгеновского излучения для медицины и безопасности	184
9.2.1 Медицинская рентгенография.....	184
9.2.2 Система Рентгеновского Контроля "Сибскан" для досмотра людей	184
Библиография.....	185
Список публикаций.....	185
Препринты.....	222
Авторефераты	229
Участие в конференциях.....	230
Соглашения о сотрудничестве.....	232
Состав научных сотрудников.....	235
Члены Российской академии наук	235
Дирекция	235
Учёный совет.....	235
Секции учёного совета по направлениям	236
Научные работники и их публикации	239

Введение

Институт ядерной физики СО АН СССР был создан в соответствии с постановлением Совета Министров СССР в мае 1958 года на базе руководимой Г.И. Будкером Лаборатории новых методов ускорения Института атомной энергии, возглавлявшегося И.В. Курчатовым. С 1977 года директором Института является академик А.Н. Скринский.

В настоящее время ИЯФ СО РАН – самый крупный академический институт страны (около 2800 сотрудников). Среди 420 научных сотрудников Института 12 академиков и членов-корреспондентов РАН, 60 докторов и 170 кандидатов наук. Особенностью ИЯФ является наличие крупного экспериментального производства (около 1000 человек) с высоким уровнем технического и технологического оснащения.

Институт ведет активную работу по подготовке научных и инженерно-технических кадров высшей квалификации. ИЯФ СО РАН является базовым Институтом для семи кафедр физического факультета НГУ и физико-технического факультета НГТУ, на которых обучается около 200 студентов. В аспирантуре ИЯФ, НГУ и НГТУ обучается 50 человек.

ИЯФ является одним из ведущих мировых центров по ряду областей физики высоких энергий и ускорителей, физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза. В Институте ведутся крупномасштабные эксперименты по физике элементарных частиц на электрон-позитронных коллайдерах и уникальном комплексе открытых плазменных ловушек, разрабатываются современные ускорители, интенсивные источники синхротронного излучения и лазеры на свободных электронах. По большинству своих направлений Институт является единственным в России.

К числу основных достижений ИЯФ СО РАН в науке и технике относятся:

В области физики элементарных частиц и ядерной физики:

- пионерские работы по развитию метода встречных пучков (в настоящее время – основной метод в физике высоких энергий):
 - первые эксперименты по электрон-электронному взаимодействию (одновременно со Принстон-Стэнфордскими работами), 1965 год,
 - первые в мире эксперименты по электрон-позитронному взаимодействию (1967 год),
 - первое в мире наблюдение процесса двойного тормозного излучения (1967 год),
 - пионерские работы по двухфотонной физике (1970 год);

- исследование характеристик векторных мезонов на установках со встречными электрон-позитронными пучками ВЭПП-2, ВЭПП-2М и ВЭПП-4 (с 1967 года);

- открытие явления множественного рождения адронов в электрон-позитронной аннигиляции (1970 год);

- прецизионное измерение вклада адронной поляризации вакуума в величину аномального магнитного момента мюона для одного из наиболее чувствительных тестов Стандартной модели, проводящегося совместно с Брукхевенской национальной лабораторией (1984 - 2005 годы);

- разработка метода резонансной деполяризации для прецизионного измерения масс элементарных частиц, достижение рекордной точности измерения масс К-, ро-, омега-, фи-, пси- мезонов и ипсилон- мезонов, (1975-2004 годы);

- открытие эффектов несохранения четности в атомных переходах, подтверждение единой теории электрослабого взаимодействия, (1978 год);

- разработка метода проведения экспериментов на внутренних сверхтонких мишенях в накопителях (с 1967 года) и исследование электромагнитной структуры дейтрона в поляризационных экспериментах (с 1984 года);

- разработка метода получения интенсивных потоков меченых гамма-квантов высокой энергии на основе использования обратного комптоновского рассеяния (1980-1982 года); экспериментальное наблюдение расщепления фотона в кулоновском поле ядра (1997 год);

- развитие новых методов детектирования заряженных и нейтральных частиц высокой энергии, создание уникальных детекторов для установок со встречными пучками (ОЛЯ, КМД-1, МД-1, КМД-2, КМД-3, НД, СНД, КЕДР), с 1974 года;

- разработка рентгеновских детекторов для медицинских целей и создание на их основе малодозной цифровой рентгенографической установки со сверхнизким уровнем облучения пациента и системы рентгеновского контроля для досмотра людей «Сибскан» (с 1981 года).

В области теоретической физики:

- разработка резонансной теории динамического хаоса и псевдохаоса в классической и квантовой механике (с 1959 год);

- первое вычисление перенормировки заряда в теории Янга- Миллса (1969 год);

- разработка метода правил сумм КХД (1979 - 1984 года);

- предсказание большого усиления эффектов несохранения четности в нейтральных

резонансах в тяжёлых ядрах (1980-1985 года);

- разработка теории жёстких эксклюзивных реакций в КХД (1977-1984 года);
- развитие операторного подхода к квантовой электродинамике во внешних полях (1974-1976 года);
- разработка квантовой электродинамики в периодических структурах, в том числе в лазерной волне (1972-1997 года);
- развитие теории радиационных эффектов при прохождении заряженных частиц и фотонов высокой энергии через ориентированные монокристаллы (с 1978 год);
- вывод уравнения эволюции в КХД для распределения партонов по энергии (BFKL-уравнение) (1975-1997 года);
- предсказание эффекта когерентности при излучении глюонов в КХД и изучение его влияния на адронные распределения (1981-1982 года).

В области физики и технологии ускорителей:

- успешный многолетний опыт работы по созданию накопителей и установок со встречными пучками;
- изобретение, разработка и экспериментальная проверка метода «электронного охлаждения» для пучков тяжелых частиц, используемого в настоящее время в лабораториях всего мира; обеспечение эффективными «охлаждающими» ускорительными комплексами тяжелых ионов в Германии, Китае, ЦЕРНе (1965-2005 года);
- изобретение и разработка новых типов мощных ВЧ генераторов (гирокон, релятивистский клистрон, магникон), с 1967 года;
- предложение метода линейных электрон-позитронных встречных пучков с целью получения сверхвысоких энергий (1968 год), представление физически самосогласованного проекта (1978 год);
- разработка элементов сильнополевой импульсной магнитной оптики (X-линзы, литиевые линзы), используемых в настоящее время в различных лабораториях (с 1962 года);
- изобретение и экспериментальная проверка метода перезарядной инъекции, применяемого в настоящее время на всех крупных протонных ускорителях (1960-1964 года);
- теоретические и экспериментальные исследования получения поляризованных пучков и спиновой динамики в коллайдерах и ускорителях, концептуальная разработка и создание высокоэффективных спиновых ротаторов и «сибирских змеек» для ряда ускорительных комплексов (1966-1995 годы);
- теоретические и экспериментальные исследования стохастической неустойчивости и «эффектов встречи», ограничивающих светимость установок со встречными пучками (с

1966 года);

- разработка физической концепции нового поколения электрон - позитронных коллайдеров с очень высоким уровнем светимости, так называемых электрон - позитронных фабрик (с 1987 года);
- предложение и разработка метода ионизационного охлаждения мюонов для создания мюонных коллайдеров и нейтринных фабрик (1969 -1981 - 2002);
- разработка и создание мощных электронных ускорителей малой энергии для различных технологических применений, включая защиту окружающей среды, в том числе ускорители ЭЛВ-12 с мощностью 500 кВт и энергией 1 МэВ и ИЛУ-10 с мощностью до 50 кВт и энергией 5 МэВ (с 1963 года);
- предложение и реализация схемы ускорителя – рекуператора для лазеров на свободных электронах с высоким КПД (1979-2003 годы).

В области физики плазмы и термоядерного синтеза:

- изобретение (1954 год) и создание (1959 год) «классической» открытой магнитной ловушки (пробкотрона) для удержания горячей плазмы;
- изобретение и разработка новых схем открытых ловушек: многопучковой, с вращающейся плазмой, амбиполярной, газодинамической; экспериментальное осуществление многопучкового удержания плазмы с суб-термоядерными параметрами на ловушке ГОЛ-3; экспериментальное осуществление стабилизации МГД неустойчивостей в аксиально-симметричной газодинамической ловушке на установке ГДЛ, (с 1971 года);
- открытие бесстолкновительных ударных волн в плазме, (1961 год);
- разработка метода нагрева плазмы релятивистскими электронными пучками (с 1971 года);
- разработка поверхностно-плазменных высокоинтенсивных источников отрицательных ионов, получивших широкое распространение во всем мире (1969-1981 года);
- предложение и разработка концепции мощного термоядерного источника нейтронов для материаловедения на основе открытой ловушки (с 1987 года).
- теоретическое предсказание ленгмюровского коллапса (1972 год), экспериментальное обнаружение сильной ленгмюровской турбулентности и коллапса ленгмюровских волн в магнитном поле (1989-1997 года);
- Создание серии уникальных мощных прецизионных источников атомов водорода для исследования высокотемпературной плазмы для ряда крупных установок (с 1997 год).

В области синхротронного излучения и лазеров на свободных электронах:

- использование синхротронного излучения накопителей ИЯФ СО РАН для различных научных и технологических целей и создание Сибирского международного центра синхротронного излучения на базе накопителей ВЭПП-2М, ВЭПП-3, ВЭПП-4 (с 1973 года);
- теоретические и экспериментальные исследования излучения частиц в периодических структурах (ондуляторы, вигглеры, кристаллы), с 1972 года;
- разработка и создание специализированных источников синхротронного излучения (с 1983 года);
- разработка и создание одно- и двухкоординатных детекторов для экспериментов с синхротронным излучением (с 1975 года);
- изобретение и разработка оптического клистрона (1977 год), получение генерации когерентного излучения от инфракрасной до ультрафиолетовой области спектра (с 1980 года);
- разработка и создание мощного лазера на свободных электронах (для фотохимических исследований и технологических применений, а также для передачи энергии с Земли на спутник) на основе наиболее перспективной схемы, использующей микротрон - рекуператор; получение мощного (400 Вт) лазерного излучения терагерцового диапазона (с 1987 года);
- создание серии сверхпроводящих магнитных устройств с сильными полями для источников СИ и электронных накопителей (вигглеры и поворотные магниты с полем до 10 Т, соленоиды с полем до 13 Т), с 1996 года.

Прикладные работы ИЯФ СО РАН целиком базируются на результатах фундаментальных исследованиях Института и сконцентрированы на следующих основных направлениях:

- Промышленные ускорители электронов высокой мощности, используемые для модификации полимеров, очистки промышленных и бытовых отходов, производства нанопорошков чистых металлов, окиси кремния, оксидов, карбидов и нитридов металлов, радиационной обработки продуктов питания, стерилизации медицинского оборудования и одноразовых инструментов и одежды, и других технологических применений.
- Малодозные цифровые рентгенографические установки сканирующего типа со сверхнизким уровнем облучения пациента для медицины и систем безопасности;
- Разработка установок ядерной медицины для протонной, ионной и бор-нейтронзахватной терапии злокачественных образований;
- Установки для электронно-лучевой сварки;

- Радиографическое оборудование для исследований оборонного характера.

На протяжении последних 20 лет ИЯФ СО РАН активно использовал возможности финансирования фундаментальных и прикладных работ за счет средств, получаемых от хозяйственной деятельности и выполнения контрактных работ. Институт разрабатывает, производит и поставляет потребителям в страны Европы, Азии, Северной и Южной Америки (более 20 стран), а также в Россию широкий спектр наукоемкой и высокотехнологичной продукции на десятки миллионов долларов ежегодно. На полученные таким образом средства был достроен и введен в эксплуатацию ускорительный комплекс ВЭПП-4М с уникальным детектором КЕДР, разработаны и построены новые крупные современные уникальные установки: электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-2000, лазер на свободных электронах, новый инжекционный комплекс для обеспечения работы существующих и будущих установок ИЯФ. В течение всего постсоветского периода за счет этих средств поддерживалась непрерывная работа установок ИЯФ и соответствующей инфраструктуры.

Институт отличается широкое многолетнее международное сотрудничество с большинством крупных зарубежных и международных центров. Ярким примером такого сотрудничества является участие ИЯФ в крупнейшем международном проекте современности – создании Большого Адронного Коллайдера в Европейском Центре Ядерных Исследований (г. Женева). В рамках этого сотрудничества ИЯФ СО РАН разработал, изготовил и поставил в ЦЕРН уникальное высокотехнологичное оборудование стоимостью более 100 миллионов швейцарских франков. Среди других примеров международного сотрудничества – участие в проектах В-фабрик в США и Японии, в реализации крупных европейских проектов: источника синхротронного излучения PETRA-III, рентгеновского лазера на свободных электронах (DESY, Гамбург), тяжёло-ионного ускорительного комплекса (GSI, Дармштад) и ряда других.

ИЯФ СО РАН играет ключевую роль в ряде крупных российских проектов, в числе которых: Центр синхротронного излучения в НИЦ «Курчатовский Институт», Источник синхротронного излучения ТНК в Зеленограде, нейтронный источник для ОИЯИ в Дубне, радиографическое оборудование для исследований оборонного значения для ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ» в Снежинске.

Институт принимает активное участие в формировании инновационной экономики страны. Одним из ярких примеров этого процесса является разработка совместно с ИЦиГ СО РАН и ЗАО «Сибирский центр фармакологии и биотехнологии» уникальной технологии

электронно-лучевой иммобилизации биомолекул на инертном носителе, которая используется для серийного производства первого в мире перорального тромболитика «Тромбовазим».

Институт глубоко интегрирован в работы РАН и СО РАН, осуществляя выполнение 22 проектов по программам Президиума и отделений РАН, 16 междисциплинарных интеграционных проектов и 8 совместных проектов СО РАН с институтами региональных отделений РАН, национальных академий наук Украины, Беларуси и Китайской народной республики, двух заказных проектов СО РАН – в качестве соисполнителя; семи государственных контрактов в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы»; двадцати государственных контрактов в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы; около пятидесяти проектов РФФИ.

Ежегодно сотрудники Института представляют около 200 докладов на международных и российских конференциях, публикуют около 500 статей в ведущих российских и зарубежных научных журналах, издают монографии и учебные пособия. Согласно материалам, опубликованным в обзоре «Библиометрические показатели Российской науки и РАН» (Вестник РАН, июнь 2009 года, том 79, № 6), количество ссылок на работы ИЯФ СО РАН за 1997-2007 годы, учитываемых в авторитетной международной базе данных ISI, составляет 28267. В соответствии с данными обзора, это значение является максимальным результатом среди всех институтов Российской академии наук. Четверо сотрудников Института являются лауреатами специальной премии издательства Elsevier как самые цитируемые авторы на постсоветском пространстве в области естественных наук.

Лучшими работами 2011 года Ученый Совет ИЯФ признал следующие работы:

В области физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий:

1) В эксперименте Belle (КЕК, Япония) в распадах $\gamma(5S)$ впервые обнаружены резонансные состояния с экзотической кварковой структурой.

2) В экспериментах с детектором КЕДР на ВЭПП-4М с лучшей в мире точностью измерены параметры $\psi(2S)$ и $\psi(3770)$ -мезонов и установлено наиболее чувствительное ограничение на сечение рождения узких резонансов в области энергии $2E = 1,85-3,1$ ГэВ.

3) В эксперименте с детектором СНД на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 с рекордной точностью измерено сечение про-

цесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$.

4) Завершено доказательство мультиреджевской формы амплитуд КХД при высоких энергиях в следующем за главным логарифмическим приближении.

В области физики плазмы:

1) На установке ГОЛ-3 при коллективном взаимодействии мощного релятивистского пучка с плазмой зарегистрирована генерация интенсивного излучения на второй гармонике плазменной частоты, которая лежит в терагерцовом диапазоне.

2) Впервые в мире создан источник отрицательных ионов водорода со стационарным током пучка 25 мА, в котором моделируются основные закономерности формирования пучка в элементарной ячейке будущего сильноточного инжектора нейтральных атомов высокой энергии (~1 МэВ) для термоядерных приложений.

В области физики и техники ускорителей заряженных частиц, источников СИ и ЛСЭ:

1) Разработан концептуальный проект ускорительного комплекса со встречными электрон-позитронными пучками – «Супер Чарм/Тау-фабрика», вошедший в число шести проектов, рекомендованных к рассмотрению Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям по вопросу о создании установок класса «MEGA-Science» на территории России.

2) На электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 достигнуто рекордное значение «параметра встречных пучков» и проведен эксперимент с двумя детекторами СНД и КМД-3 в диапазоне энергии 1000 – 2000 МэВ с рекордной интегральной светимостью.

3) Разработана, изготовлена и успешно испытана установка высоковольтного электронного охлаждения протонного пучка с рекордным темпом охлаждения для немецкого накопителя COSY (Юлих, Германия).

4) С использованием синхротронного излучения накопителя ВЭПП-3 впервые в мире с наносекундным временным разрешением реализован метод контроля образования и роста наночастиц конденсированной фазы продуктов химической реакции детонации во время взрыва.

5) Успешно испытан на источнике синхротронного излучения ALBA-CELLS (Испания) разработанный и созданный в ИЯФ СО РАН уникальный 119-полюсный сверхпроводящий вигглер с рекордной яркостью излучения в области рентгеновского диапазона.

6) Разработан концептуальный проект рентгеновского источника СИ четвертого поколения на основе ускорителя-рекуператора, яркость излучения которого на несколько порядков превосходит яркость строящихся сейчас

в Европе и США источников рентгеновского излучения. Проект входит в число шести проектов, рекомендованных к рассмотрению Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям по вопросу о создании установок класса «MEGA-Science» на территории России.

В декабре 2011 года на Общем собрании Российской академии наук действительным членом РАН избран Николай Сергеевич Диканский, членами-корреспондентами РАН избраны Николай Александрович Винокуров и Павел Владимирович Логачев. Таким образом, в настоящее время в Институте работает 5 академиков и 7 членов-корреспондентов РАН.

Премия Сибирского отделения Российской академии наук имени академика Г.И.Будкера за работу «Оптимизация динамической апертуры электрон-позитронного супер-коллайдера «Чарм-Тау фабрика» в Новосибирске» присуждена П.А. Пиминову.

Именная премия Правительства Новосибирской области для молодых ученых в номинации «разработка или создание приборов, методик, технологий и новой научно-технической продукции» за 2011 год присуждена А.Л. Соломахину за цикл работ по теме «Многоканальный дисперсионный интерферометр для измерения электронной плотности в современных установках с магнитным удержанием термоядерной плазмы».

Лауреатами конкурса на получение грантов Правительства Новосибирской области на проведение прикладных научных исследований и завершение опытно-конструкторских работ в 2012 году стали молодые ученые Института А.Л. Соломахин (тема исследования – «Модернизация многоканального дисперсионного

интерферометра для измерения электронной плотности в современных установках с магнитным удержанием термоядерной плазмы») и Д.Е. Беркаев (тема исследования – «Модернизация системы автоматизации ускорительного комплекса ВЭПП-2000»).

Именные стипендии Правительства Новосибирской области для аспирантов в 2012 году присуждены аспирантам ИЯФ В.И. Алейнику и А.Ю. Власову.

А.В. Судников стал победителем конкурса мэрии г. Новосибирска на предоставление грантов мэрии молодым учёным и специалистам в 2011 году с проектом «Исследование явлений пересоединения силовых линий магнитного поля в многопробочной ловушке ГОЛ-3».

Четыре научных коллектива Института, возглавляемые академиками Скринским, Кругляковым, Кулипановым и профессором Онуциным, имеют статус ведущих научных школ, присуждаемый Советом по грантам при Президенте Российской Федерации. Два коллектива молодых ученых Института являются лауреатами этого же Совета как молодые кандидаты наук.

В отчетном году в Институте продолжали работу три диссертационных Совета с правом приема докторских (кандидатских) диссертаций. Всего проведено 15 заседаний, на которых были защищены 4 докторских и 11 кандидатских диссертаций.

Для учащихся, студентов, преподавателей школ и вузов, сотрудников других организаций и гостей Института было проведено более 50 экскурсий по установкам ИЯФ, которые посетило около 1500 человек, проведены выездные лекции в Новосибирских школах.

1

**Физика
элементарных
частиц**

1.1 Детектор КМД-3

В течение 2011 года на детекторе КМД-3 было проведено несколько сеансов набора экспериментальных данных, в процессе которых параметры детектора были оптимизированы для совместной работы с коллайдером ВЭПП-2000, проведена калибровка систем детектора и начата запись информации, предусмотренной физической программой.

В феврале-июне 2011 года набор данных выполнялся в диапазоне энергий 1,05 - 2,0 ГэВ в системе центра масс. Для уменьшения систематических ошибок сканирование производилось дважды - сначала с увеличением, а затем с уменьшением энергии пучков в коллайдере. В итоге были получены экспериментальные данные в 40 энергетических точках с шагом 25 МэВ в системе центра масс. Записанный интеграл светимости составил 22 пб^{-1} .

На рис.1.1.1 показана фотография детектора КМД-3 в экспериментальном зале ВЭПП-2000. На рисунке можно видеть пластины сцинтилляционных счетчиков для регистрации мюонов, установленные на детектор в 2011 году. Также на детектор были установлены времяпролетные счетчики для выделения событий рождения пар нейтрон-антинейтрон вблизи порога.

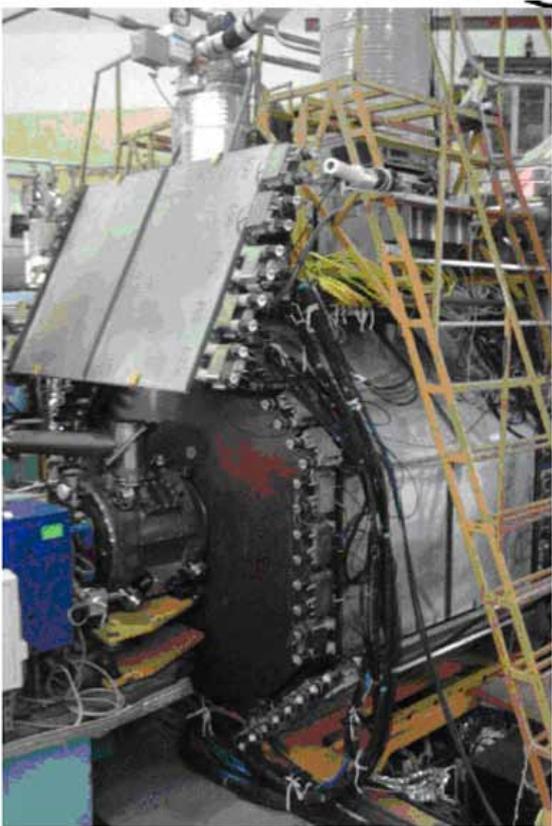


Рис. 1.1.1. Детектор КМД-3 в экспериментальном зале коллайдера ВЭПП-2000.

В 2011 году была разработана плата оцифровывающей электроники AWF-32, которая заменит платы А32 стандарта «КЛЮКВА» при чтении данных с жидкоксенонового калориметра и Z-камеры детектора КМД-3. Были изготовлены несколько опытных образцов AWF-32, которые были протестированы в системе сбора данных КМД-3. Полученные результаты тестов соответствуют ожидаемым параметрам. Производство плат AWF-32 в полном объеме планируется завершить в 2012 году.

На основе полученных данных начато изучение процессов множественного рождения адронов. В частности, были измерены сечения рождения четырех и шести пионов в области энергий 1,0 - 2,0 ГэВ в системе центра масс. На рис. 1.1.2 показаны предварительные результаты по измерению сечения процесса $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$. Результаты детектора КМД-3 показаны заполненными точками, открытыми точками для сравнения показаны результаты детектора ВаВаг. Вертикальной линией указан порог рождения пары протон-антипротон.



Рис. 1.1.2. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ в зависимости от энергии. Черные точки – результаты эксперимента КМД-3, открытые точки – данные ВаВаг. Вертикальная линия показывает порог рождения пары протон-антипротон.

Другим важным физическим результатом предварительной обработки данных явилось измерение сечения рождения пары протон-антипротон, приведенное на Рис.1.1.3. Несмотря на то, что в анализе участвовал интеграл светимости равный всего лишь 3 пб^{-1} , точность измерения сечения не уступает результатам детектора ВаВаг, полученным после многих лет работы. К настоящему времени обработана информация, относящаяся к энергиям выше 950 МэВ в пучке, когда энергии нуклонов хватает, чтобы пролететь через вакуумную трубку,

окружающую место встречи. При более низких энергиях они в ней застревают и основным критерием отбора таких событий должно стать наличие вершины аннигиляции антипротона на вакуумной трубке. Анализ этой области энергий продолжается.

Кроме того, для калибровки энергии пучков ВЭПП-2000, в июне 2011 года было выполнено сканирование области энергий вблизи ϕ -мезонного резонанса. Интеграл светимости составил $1,1 \text{ пб}^{-1}$. На основе экспериментальных данных, набранных в четырех энергетических точках, была определена кривая возбуждения ϕ -мезона и определены параметры этого резонанса в канале распада $\phi \rightarrow K_L K_S$. Сравнение значений этих параметров со среднемировыми позволило провести калибровку энергетической шкалы коллайдера ВЭПП-2000.

С целью улучшения импульсного разрешения трековой системы была изучена возможность работы детектора с магнитным полем сверхпроводящего соленоида 13 кГс вместо выбранного ранее значения 10 кГс. Все системы детектора при этом продемонстрировали стабильную работу. Обработка полученной информации показала, что в соответствии с ожиданием импульсное разрешение улучшилось на 15-20 %.

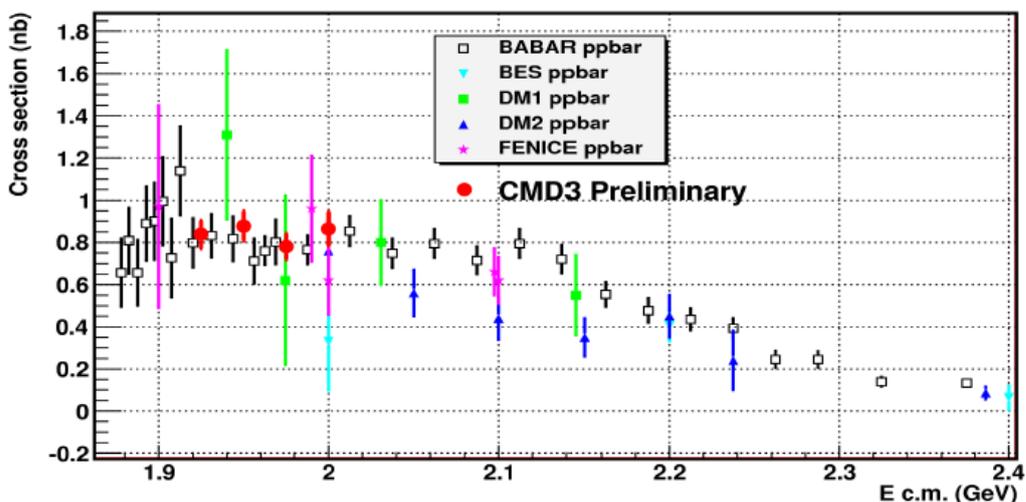


Рис.1.1.3. Сечение рождения пары протон-антипротон в зависимости от энергии в системе центра масс в сравнении с другими экспериментами.

1.2 Детектор СНД

1.2.1 Состояние детектора и эксперименты на ВЭПП-2000

В декабре 2010 года и первой половине 2011 года с детектором СНД был проведен успешный сеанс набора данных на коллайдере ВЭПП-2000. В начале сеанса при энергии 750 МэВ была проведена настройка коллайдера. При этом были накоплены данные, соответствующие интегральной светимости около 600 нб^{-1} . В течение второй половины декабря было проведено сканирование ϕ -мезонного резонанса. В 10 точках по энергии пучка от 505 до 514 МэВ была накоплена интегральная светимость около 650 нб^{-1} . По этим данным была сделана калибровка энергетической шкалы коллайдера. После корректировки сдвига энергии был про-

веден эксперимент в области ϕ -мезонного резонанса с набранной светимостью около 600 нб^{-1} .

В январе 2011 года было начато сканирование интервала энергий в системе центра масс от 1 до 2 ГэВ. Шаг сканирования был выбран равным 25 МэВ. Указанный энергетический диапазон был пройден дважды: сначала снизу вверх с шагом 50 МэВ, а затем сверху вниз с тем же шагом, но по энергетическим точкам, сдвинутым на 25 МэВ. Сканирование было закончено в июне 2011 года. На рис. 1.2.1 приведен график набора интегральной светимости по дням для этого эксперимента, названного MHAD2011. После окончания сканирования MHAD2011 был проведен короткий сеанс набора данных с интегральной светимостью около 0.8 пб^{-1} в области ϕ -мезонного резонанса. Суммарная инте-

гравная светимость, накопленная детектором СНД в сезоне 2010÷2011 годов, составила около 25 пб^{-1} . Было записано около 1,7 миллиарда событий. Средняя скорость записи в эксперименте составила 435 Гц.

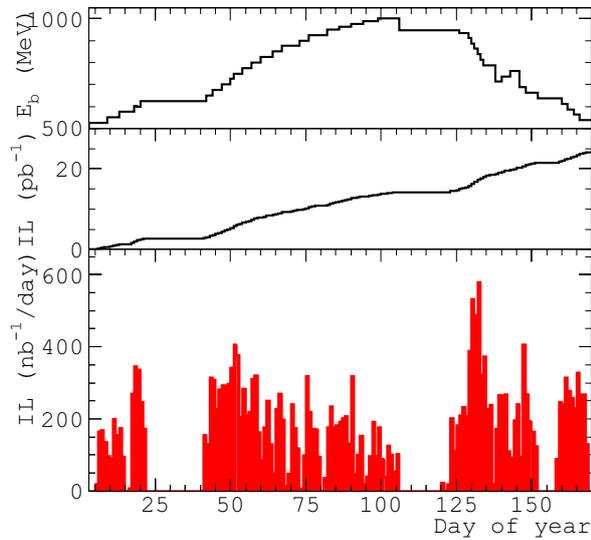


Рис.1.2.1 График набора светимости по дням в эксперименте МНAD2011. Верхний график показывает энергию пучка, при которой проводился набор данных. Средний график показывает изменение накопленной интегральной светимости за время эксперимента. Нижний график показывает распределение по времени интегральной светимости, накопленной за сутки.

Все подсистемы детектора во время набора данных работали удовлетворительно. Потеря статистики из-за неисправностей детектора и системы сбора данных не превысила 5%.

Перед началом эксперимента была проведен ремонт системы азрогелевых черенковских счетчиков детектора: частично были заменены фотоприемники, азрогель подвергся процедуре термического восстановления длины поглощения. Измерения в ходе эксперимента показали, что число фотоэлектронов в счетчике от ультра релятивистской частицы вернулось на проектный уровень и составляет около восьми.

Во время набора статистики тестировалась также новая предусилительная электроника калориметра, которая, как ожидается, повысит надежность работы калориметра и существенно упростит ремонт неисправных каналов. Новая электроника была смонтирована на 26 каналах первого слоя калориметра. За семь месяцев эксплуатации в условиях эксперимента ни один канал из строя не вышел. Осенью 2011 года новая электроника была установлена на половине первого слоя калориметра (260 каналов).

В течение 2011 года проводилось перманентное улучшение системы сбора данных детектора. В основном оно коснулось системы опе-

ративного контроля за состоянием детектора по событиям. К уже существующим программам контроля срабатываний калориметра, трековой системы и сцинтилляционных счетчиков были добавлены программы контроля черенковских счетчиков и мюонных трубок, измерения порогов на энерговыделения в калориметре и времени его срабатывания. Была собрана и запущена в работу система контроля газовой смеси. Существенные улучшения произошли также в интерфейсе оператора.

К апрелю 2011 года была отработана первая версия процедуры предварительной реконструкции событий («перекачки»), с помощью которой были обработаны данные (около 5 пб^{-1}), записанные в 2010 году. Результатом «перекачки» являются реконструированные события, сгруппированные по физическим классам (потокам): коллинеарный, заряженный, нейтральный и так далее. Использование предварительной реконструкции сокращает количество событий примерно в 20 раз и позволяет существенно сэкономить время обработки данных. Предварительная реконструкция данных, записанных в 2011 году, была закончена к декабрю.

1.2.2 Первые результаты экспериментов

Для измерения сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ были использованы данные, набранные в первой половине 2010 года в области энергии $2E = 1,1\div 1,9 \text{ ГэВ}$. Светимость измерялась при помощи событий процесса $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ и составила около 4 пб^{-1} .

Отбирались события, содержащие 5 и более зарегистрированных фотонов, у которых полное энерговыделение в калориметре было больше энергии одного пучка, и ни одной заряженной частицы. Дополнительно использовались несколько ограничений на значения функций правдоподобия, отбирающих события, в которых 5 фотонов удовлетворяют закону сохранения энергии - импульса и в которых есть кандидат на распад $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$.

На рис. 1.2.2 приведено сечение изучаемого процесса, полученное в данной работе, и результаты предыдущих измерений на детекторах СНД, КМД-2, CLEO и DM2.

Там же приведен результат совместной аппроксимации данных СНД, полученных в этом эксперименте и в эксперименте 2000 года. Для аппроксимации была использована модель векторной доминантности с учетом $\rho(770)$, $\rho(1450)$ и $\rho(1700)$ в промежуточном состоянии. Результаты данной работы были опубликованы в журнале "Письма в ЖЭТФ".

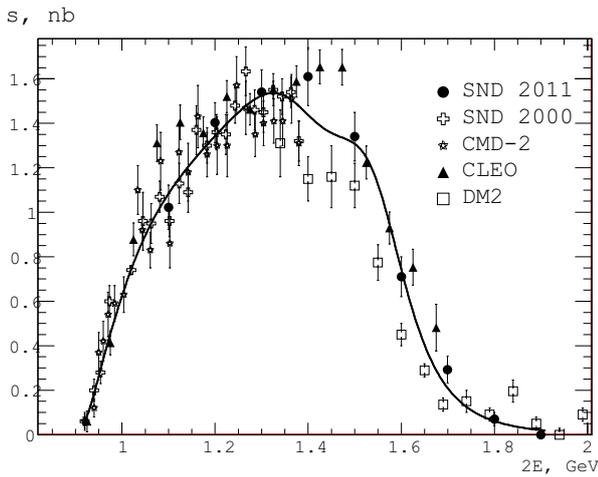


Рис.1.2.2. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$. На рисунке представлены результаты СНД 2011, СНД 2000, КМД-2, CLEO и DM2. Кривая - результат совместной аппроксимации данных СНД 2011 и СНД 2000.

Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ было измерено, используя данные 2010 года с интегральной светимостью около 4 пб^{-1} . События отбирались по следующим критериям: 2 центральных трека, 2 фотона, пространственный угол между заряженными частицами больше 40° , полное энерговыведение в калориметре находится в диапазоне $0,3 \div 0,8$ от энергии в с.ц.м., χ^2 кинематической реконструкции меньше 30. Число событий процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ определялось с помощью аппроксимации распределением Гаусса спектра $m_{\gamma\gamma}$ для отобранных ранее событий с учетом оставшегося вклада от фонового процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$. Полученное сечение приведено на рис. 1.2.3.

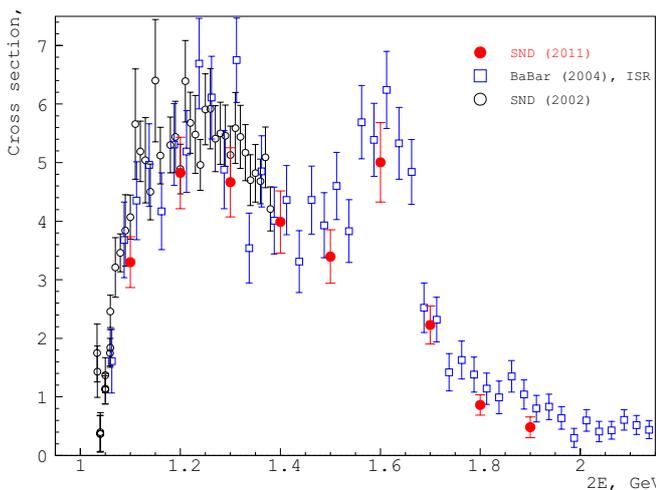


Рис.1.2.3. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ в сравнении с результатами предыдущих экспериментов на детекторах СНД (ВЭПП-2М) и BaBar.

Получен предварительный результат из-

мерения сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ в интервале энергий от 1 до 2 ГэВ (рис.1.2.4). В этой области энергии состояния $\rho(1450)$ и $\rho(1700)$ вносят основной вклад в сечение процесса. Наши результаты согласуются с предыдущими измерениями СНД в интервале ниже 1,4 ГэВ, а также с результатом BaBar, полученным методом радиационного возврата. Статистическая неопределенность наших измерений меньше, чем у предшествующих измерений и составляет примерно 2%.

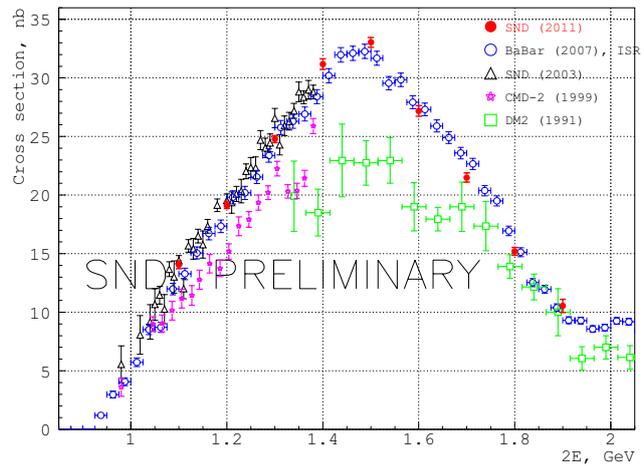


Рис. 1.2.4. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$, измеренное с СНД на ВЭПП-2000 и результаты предыдущих экспериментов.

Для измерения сечения процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ из массива записанных событий при энергии вблизи порога отбирались события с аннигилирующей антипротоном в стенке вакуумной камеры. При энергии выше 1910 МэВ отбирались события с коллинеарными треками протона и антипротона, имеющими высокую плотность ионизации в дрейфовой камере. Эффективность регистрации определялась по моделированию. Для определения фонового сечения аналогичные критерии отбора применялись к событиям на энергии ниже порога рождения $p\bar{p}$. Полученное сечение показано на рис. 1.2.5 в сравнении с наиболее точными в настоящее время результатами, полученными на детекторе BaBar.

Для определения сечения процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ из записанных событий исключались события с треками и фотонами из места столкновения пучков. События пучкового фона подавлялись высоким порогом в калориметре около 1 ГэВ. Космический фон подавлялся наружной мюонной системой и привязкой к фазе ВЧ. Эффективность определялась по моделированию. Полученное сечение показано на рис.1.2.6 в сравнении с единственным предыдущим измерением на детекторе FENICE.

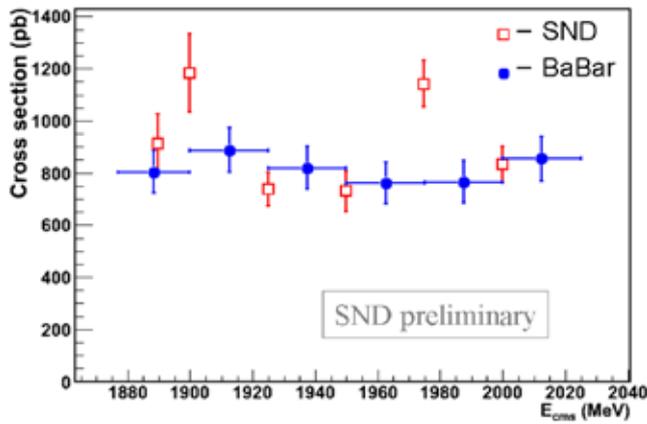


Рис. 1.2.5. Предварительные результаты СНД по измерению сечения $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$. Приведенные погрешности результатов СНД - только статистические.

В 2011 году продолжались работы по созданию системы измерения энергии пучка коллайдера ВЭПП-2000 методом обратного комптоновского рассеяния. В экспериментальном зале были установлены источник начальных фотонов - СО-лазер, вакуумная камера для ввода лазерного излучения в вакуумную камеру коллайдера, детектор из высокочистого германия, предназначенный для регистрации и измерения энергии комптоновских гамма-квантов. Проведено изучение фона в детекторе при работе комплекса ВЭПП-2000. Скорость счета в отсутствии пучков составила 30 Гц. При наличии среднего суммарного тока 80 мА средняя загрузка детектора составила около 1200 Гц. "Живое время" при этом составляло около 90 %.

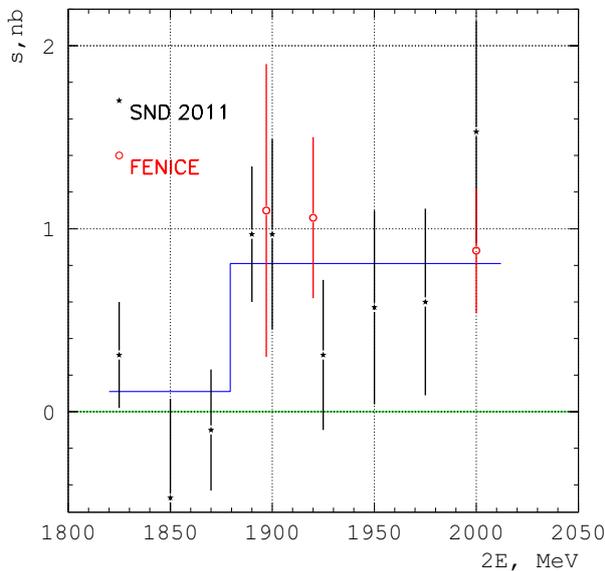


Рис.1.2.6. Измеренное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$. Также показано сечение эксперимента FENICE. Ошибки только статистические.

1.3 Детектор КЕДР

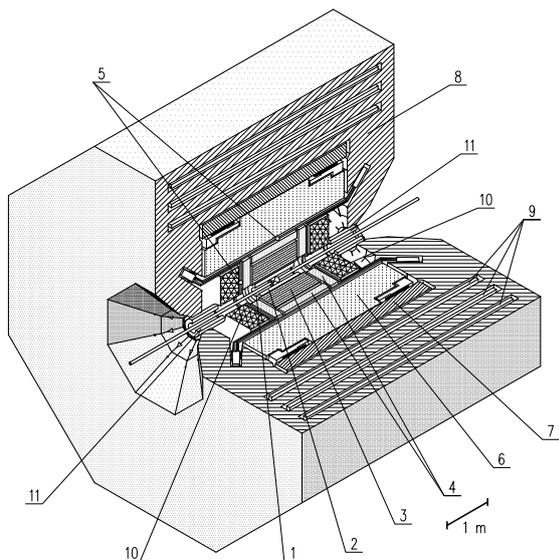


Рис. 1.3.1 Детектор КЕДР. 1 - вакуумная камера ускорителя, 2 - вершинный детектор, 3 - дрейфовая камера, 4 - аэрогелевые пороговые счётчики, 5 - времяпролётные счётчики, 6 - баррельный жидкокритоновый калориметр, 7 - сверхпроводящая катушка, 8 - ярмо, 9 - мюонные камеры, 10 - торцевой CsI калориметр, 11 - компенсирующая катушка.

Детектор КЕДР - это универсальный магнитный детектор, эксперименты с которым ведутся на e^+e^- -коллайдере ВЭПП-4М в области энергий от 2 до 11 ГэВ в системе центра масс.

Основные системы детектора КЕДР показаны на рис. 1.3.1. Кроме того, детектор включает систему регистрации рассеянных электронов для изучения $\gamma\gamma$ -физики и монитор светимости. Параметры детектора КЕДР находятся на уровне параметров лучших детекторов, работающих в мире в этой области энергий; подробно детектор описан в препринте ИЯФ 2010-40.

Модернизация детектора КЕДР для экспериментов на высокой энергии.

В связи с планируемым переходом в область энергии $W = 4 - 8$ ГэВ было принято решение провести ремонт и модернизацию систем детектора КЕДР, что и было начато в мае 2011 года. Ниже описаны работы 2011 года по улучшению работы систем детектора КЕДР.

- Была проведена разборка детектора КЕДР. Извлечены все системы, демонтирована вакуумная камера.

- Для увеличения магнитного поля с 6 кГс до 10-12 кГс ведётся работа по созданию на современной элементной базе нового источника питания для запитки основного сверхпроводящего соленоида и компенсирующих катушек.

- На криогенной станции ИЯФ в августе-сентябре 2011 года были установлены новые компрессоры, что позволит увеличить срок не-

прерывной эксплуатации между остановками на профилактику.

- В связи с подъёмом поля в декабре 2011 года были закончены работы по усилению элементов детектора, обеспечивающих крепление встроенного кольца, а также поддерживающих и задающих положение компенсирующих катушек, центральной вакуумной камеры и торцевых калориметров относительно орбиты комплекса ВЭПП-4М.

- Была разработана и протестирована новая электроника мюонных камер. В настоящее время она запущена в серийное производство и устанавливается на блоки системы (88 блоков, 552 канала).

- Для торцевого калориметра на основе кристаллов CsI была сделана новая конструкция, поддерживающая и объединяющая кристаллы в модули. Число модулей уменьшилось с 8-ми до 4-х. Это позволит уменьшить систематические ошибки в вычислениях светимости, в настройках моделирования и тому подобное, связанные с неточным знанием положения кристаллов.

- Было разработано и протестировано новое крепление ФЭУ в пороговых аэрогелевых счётчиках, предотвращающее поворот фотоприемника в полях до 20 кГс. В счётчиках второго слоя системы установлены новые крепления.

- Для борьбы с деградацией фотокатода была разработана новая модификация ФЭУ с тремя МКП для системы аэрогелевых счётчиков.

Испытания прототипа ФАРИЧ на выведенном пучке. ФАРИЧ (англ. Focusing Aerogel RICH, FARICH) является перспективным детектором для идентификации заряженных частиц в широком диапазоне импульсов. Он представляет собой детектор черенковских колец с радиатором из многослойного «фокусирующего» аэрогеля. Работы ведутся на выведенном пучке ВЭПП-4М.

Выведенный пучок электронов на ВЭПП-4М. На ускорителе ВЭПП-4М в 2009-2010 годах создана новая экспериментальная установка - пучок выведенных электронов с энергией до 3 ГэВ (рис. 1.3.2). Для получения пучка используется тормозное излучение на подвижном пробнике, вводимом в гало пучка ускорителя. Конверсия тормозных гамма-квантов происходит перед дипольным магнитом в экспериментальном зале. Магнит используется для отбора электронов по импульсу. Проектное разрешение по импульсу достигает 0,5% при максимальной энергии вторичных электронов. Для измерения траектории электронов используются 7 одноординатных дрейфовых камер с проектным разрешением 0,3 мм. Для формирования триггера используется 2 сцинтилляционных счётчика заданного размера и 4 вето-счётчика для пода-

вления побочных частиц. Энергия электронов измеряется с помощью калориметра на основе кристалла NaI.

На рис. 1.3.3 показана фотография экспериментального зала с установленными компонентами пучка и прототипом ФАРИЧ.

В течение 2010-2011 годов были проведены серии экспериментов по настройке аппаратуры пучка и измерению его параметров. Наилучшие результаты были получены при энергии пучка в ВЭПП-4М 3,5 ГэВ и токе 10 мА. Были измерены загрузки от вторичных электронов после поворотного магнита в экспериментальной зоне. Загрузки от электронов с энергией 1,4 ГэВ составили 50-100 Гц при времени жизни пучка в ускорителе 3000 с.

Работы по ФАРИЧ. Данная методика разрабатывается в ИЯФ СО РАН, начиная с 2004 года. В течение этого времени была создана программа моделирования ФАРИЧ с различной конфигурацией слоёв азрогеля и фотонного детектора. В Институте катализа СО РАН впервые в мире был произведен четырёхслойный монолитный блок азрогеля с заданными показателями преломления слоёв. Предложены проекты детекторов ФАРИЧ для нескольких экспериментов физики высоких энергий: SuperB (Италия), PANDA (FAIR, Германия), ALICE (БАК, ЦЕРН), Супер-с-τ-фабрика (ИЯФ СО РАН). Для этих проектов было проведено моделирование и рассчитаны проектные параметры: разрешение по скорости, параметры разделения частиц, число фотоэлектронов.

Концептуальный проект детектора Супер-с-τ-фабрики включает в себя систему иденти-

фикации ФАРИЧ, покрывающую 98 % полного телесного угла, имеющую площадь радиатора – 17 м², фотонного детектора – 21 м². Полное количество каналов электроники - около 1 миллиона. В качестве фотонного детектора предлагается использовать кремниевые фотоумножители с активной площадью 9 мм². Радиатор - четырёхслойный азрогель толщиной 35 мм с длиной фокусировки 200 мм и максимальным показателем преломления 1,07. Моделирование показало, что система позволит разделять мюоны и пионы, начиная с черенковского порога пионов в азрогеле (0,4 ГэВ/с) до 1,7 ГэВ/с на уровне лучше 3 стандартных отклонений. Это позволит эффективно использовать систему в эксперименте по поиску процесса $\tau \rightarrow \mu \nu$ с несохранением лептонного аромата, который важен для поиска «новой физики» вне Стандартной модели. Данное μ/π -разделение во всем импульсном диапазоне не может обеспечить никакая другая система идентификации, включая детектор ДИРК, использованный в эксперименте BaBar (SLAC, США) и ряд аналогичных детекторов, разрабатываемых для новых экспериментов. Число зарегистрированных черенковских фотонов в ФАРИЧ для Супер-с-τ-фабрики варьируется от 20 до 30 в зависимости от угла полета.

В 2010-2011 годах в ИЯФ СО РАН был создан прототип детектора ФАРИЧ. В качестве фотонного детектора был выбран кремниевый фотоумножитель MRS APD производства ООО «ЦПТА» (г. Москва) с размером активной площади 2,1×2,1 мм². На основе 32-х таких фотодетекторов была создана матрица для реги-

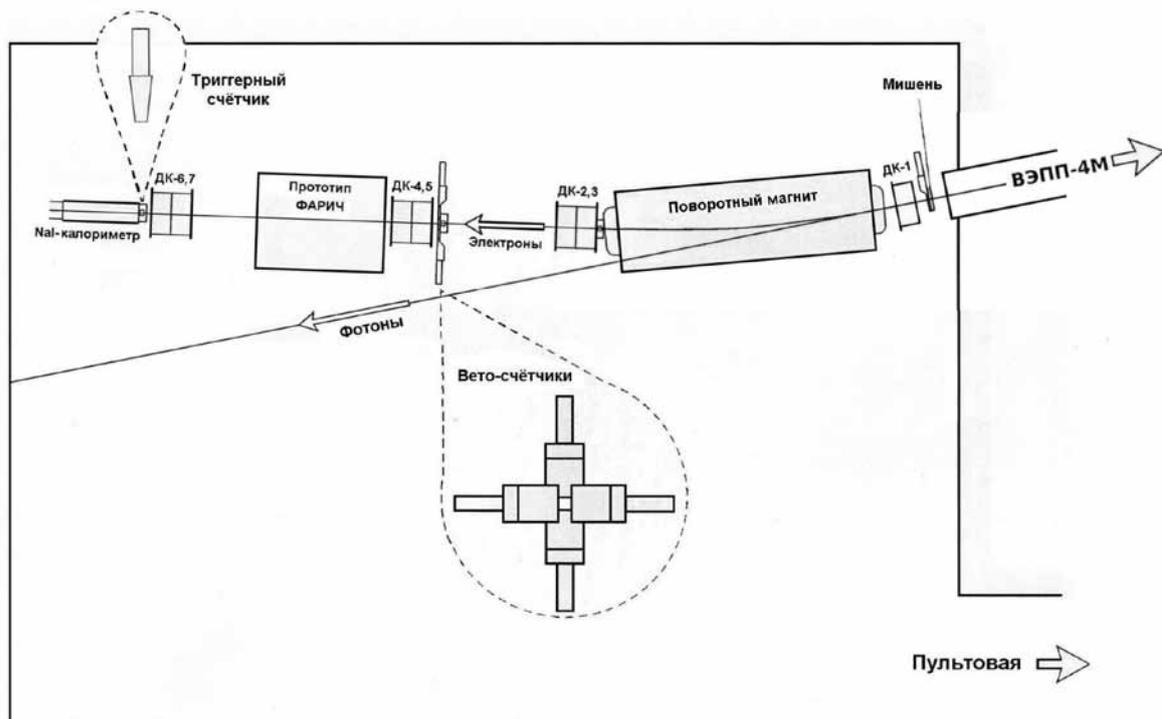


Рис. 1.3.2 Схема выведенного пучка.



Рис.1.3.3 Экспериментальный зал с компонентами выведенного пучка и прототипом ФАРИЧ.

страции фотонов черенковского излучения из аэрогеля. Для считывания сигнала используются две 16-ти канальные платы усилителей-дискриминаторов разработки ИЯИ РАН (Москва). Для оцифровки сигнала используется 64-х канальный ВЦП производства фирмы CAEN (Италия) в стандарте VME. Конструкция прототипа позволяет тестировать многослойные аэрогелевые радиаторы с длиной фокусировки от 50 до 700 мм. Также написан пакет программ для системы сбора данных прототипа ФАРИЧ. Проведены калибровки фотонных детекторов с помощью пикосекундного лазера. Временное разрешение каналов составляет 0,4-1нс, скорость счёта шумовых срабатываний: 2-8 МГц, мертвое время в канале: 20 нс.

В апреле-мае 2011 года прототип был

успешно испытан на выведенном пучке при энергии электронов около 1 ГэВ. В результате испытаний было измерено разрешение по радиусу черенковского кольца на один фотон для 4-х слойного блока «фокусирующего» аэрогеля с длиной фокусировки 93 мм. Разрешение составило 1,1 мм, что хорошо совпадает с результатами, полученными из моделирования. На рис. 1.3.4 показано распределение срабатываний по координатам хитов в плоскости фотодетекторов относительно координат трека (левый рисунок: видно три элемента кольца) и распределение фотоэлектронов по радиусу для одного из фотодетекторов. Качество аэрогеля согласуется с расчетами и не вносит дополнительную ошибку.

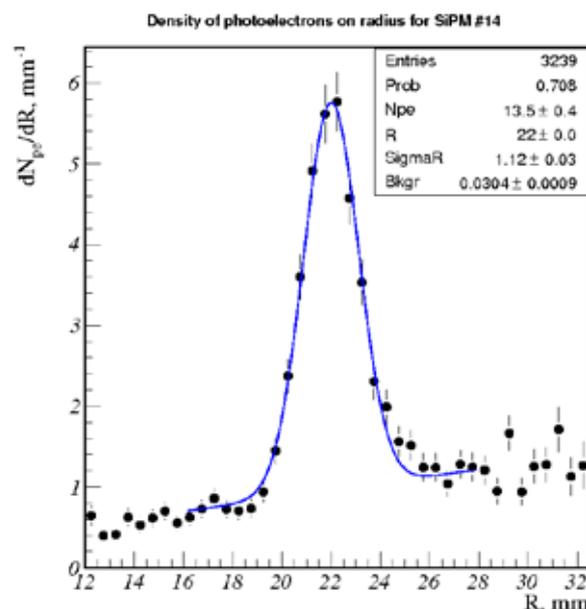
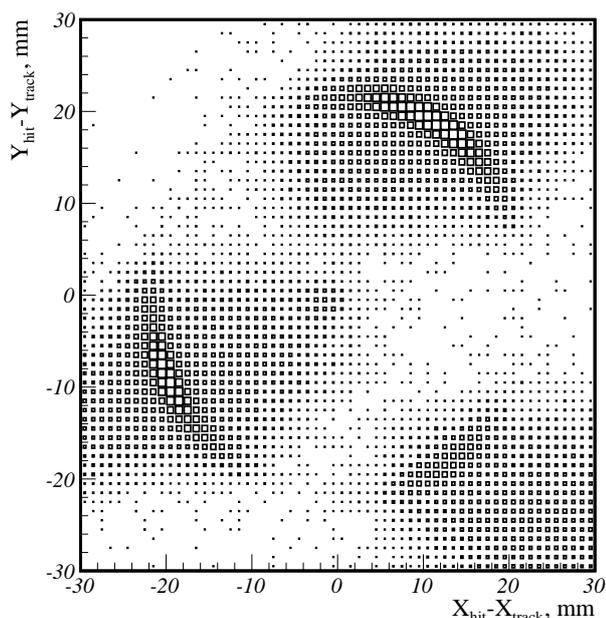


Рис. 1.3.4 Распределение срабатываний фотодетекторов по координатам относительно местоположения трека (слева) и распределение фотоэлектронов по радиусу для фотодетектора №14 (справа). Линией показана подгонка гауссовой функции с линейным фоном.

1.4 Результаты работы детектора КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М

В сезоне 2011 года был продолжен эксперимент с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М, обработка набранной ранее и новой статистики. К наиболее значимым результатам относятся следующие.

- Набор статистики: за 2011 год был набран интеграл светимости $2,1 \text{ пб}^{-1}$ на $\psi(2S)$ -мезоне, $1,4 \text{ пб}^{-1}$ в сканировании интервала энергии $2E=3,1 - 3,7 \text{ ГэВ}$ и $0,16 \text{ пб}^{-1}$ на энергии $2E=7,0 \text{ ГэВ}$.

- Завершена обработка эксперимента по поиску узких резонансов в области $2E=1,85-3,1 \text{ ГэВ}$.

- Завершён анализ эксперимента по измерению параметров $\psi(3770)$ -мезона, получены результаты для массы резонанса, его полной и лептонной ширин.

- Продолжена обработка статистики, набранной для изучения свойств $\psi(2S)$ -мезона, улучшена точность в значении массы, измерена величина $\Gamma_{ee} \times Br(\psi(2S) \rightarrow \text{адроны})$, получены значения полной и электронной ширин $\psi(2S)$.

- Продолжено измерение массы tau-лептона на всей набранной статистике.

Далее эти работы описаны более подробно.

1.4.1 Поиск узких резонансов

В 2011 году завершена обработка эксперимента по поиску узких резонансов в области $2E=1,85-3,1 \text{ ГэВ}$. Методика измерения и анализа

данных опубликованы. На рис. 1.4.1 показана величина верхнего предела на величину произведения электронной ширины на вероятность распада в адроны узкого резонанса в области энергий $1,85-3,1 \text{ ГэВ}$.

Эффективность регистрации конечных состояний, использованная на рис. 1.4.1, была оценена по адронным распадам J/ψ -мезона с учетом поправок на зависимость от типа конечного состояния и энергии в с.ц.м. На рис.1.4.1 не отражена неопределённость в величине энергетического разброса накопителя, приводящая к дополнительному увеличению предела. Итоговый предел на величину $\Gamma_{ee}^R \times Br(R \rightarrow \text{адроны})$ в интервале масс $2E = 1,85-3,1 \text{ ГэВ}$ составляет : $\Gamma_{ee}^R \times Br(R \rightarrow \text{адроны}) < 120 \text{ эВ}$, 90 % CL .

Величина предела в четыре раза ниже, чем в аналогичном эксперименте, проведённом на коллайдере ADONE.

1.4.2 Измерение параметров $\psi(3770)$ -мезона

В 2011 году завершён анализ эксперимента по измерению параметров $\psi(3770)$ -мезона.

Для обработки использовалась статистика $2,6 \text{ пб}^{-1}$, набранная в трёх сканированиях в 2004-2006 годах области $\psi(2S)$ - $\psi(3770)$. Впервые подробно изучено влияние интерференции процессов резонансного и нерезонансного

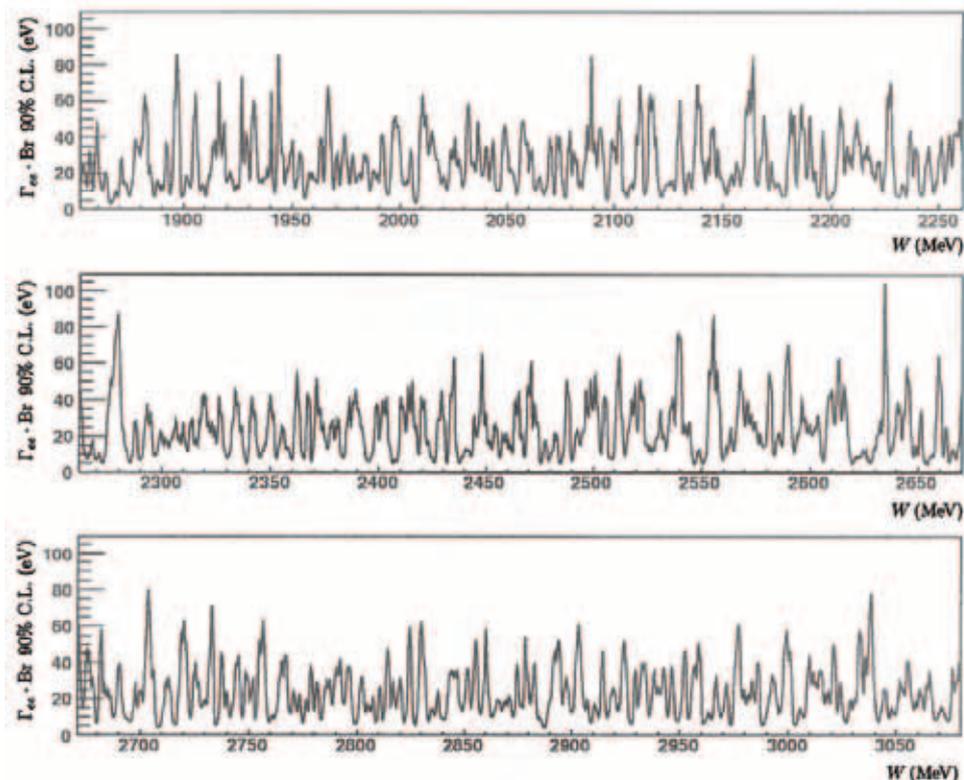


Рис. 1.4.1 Предел на произведение электронной ширины на вероятность распада в адроны для узкого резонанса в интервале энергии $1,8-3,1 \text{ ГэВ}$.

рождения пар $D\bar{D}$ - мезонов (с использованием в последнем различных моделей формфакторов) на параметры $\psi(3770)$. Исследованы систематические неопределённости, связанные с выбором формы нерезонансного сечения.

Наблюдаемое сечение $e^+e^- \rightarrow$ адроны показано на рисунке 1.4.2.

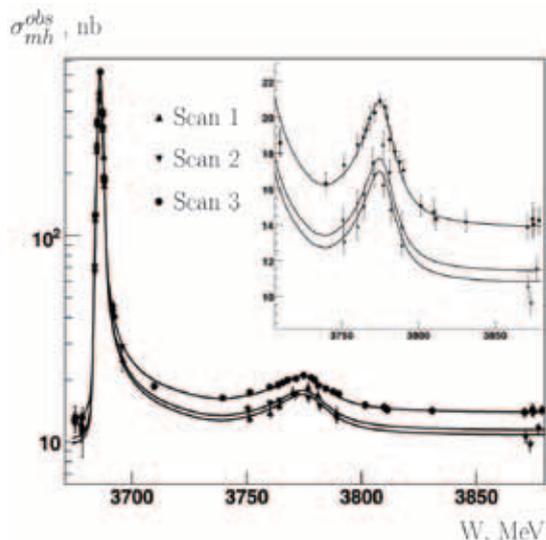


Рис. 1.4.2 Наблюдаемое сечение $e^+e^- \rightarrow$ адроны от энергии для трёх сканирований $\psi(2S)$ - $\psi(3770)$. Кривые соответствуют совместной подгонке по трём сканированиям.

Получены следующие значения массы и полной ширины $\psi(3770)$ -мезона:

$$M = 3779,2^{+1,8 +0,5 +0,3}_{-1,7 -0,7 -0,3} \text{ МэВ},$$

$$\Gamma = 24,9^{+4,6 +0,5 +0,5}_{-4,0 -0,6 -0,2} \text{ МэВ}.$$

Здесь последовательно приведены статистическая, систематическая и модельная ошибки результатов. Наличие интерференции приводит к двузначности решения для лептонной ширины:

$$(1) \Gamma_{ee} = 154^{+79 +17 +13}_{-58 -9 -25} \text{ эВ},$$

$$(2) \Gamma_{ee} = 414^{+72 +24 +90}_{-80 -26 -10} \text{ эВ},$$

Статья по данной работе отправлена для публикации.

1.4.3 Измерение параметров $\psi(2S)$ -мезона

В 2011 году была продолжена обработка статистики, набранной для изучения свойств $\psi(2S)$ -мезона. Новые результаты приведены в этом разделе.

Измерение массы

В работе было заметно улучшена точность измерения массы $\psi(2S)$ - мезона по сравнению с опубликованным в 2003 г. результатом (по ска-

нированию 2002 года). Новое значение было получено при анализе данных 2004 и 2006 года, также были уточнены систематические ошибки.

$$M = 3686,114 \pm 0,007 \pm 0,011^{+0,002}_{-0,012} \text{ МэВ}.$$

Это значение в пределах одной стандартной ошибки согласуется с табличной величиной $M_{\psi(2S)} = 3686,093 \pm 0,034$ и имеет в два раза лучшую точность.

Данные разных измерений показаны на рис. 1.4.3. Результаты приняты для публикации.

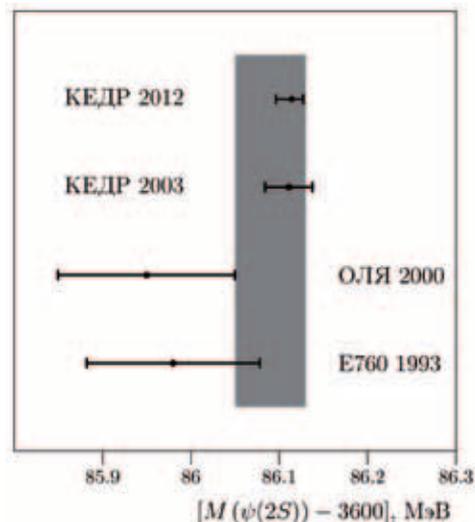


Рис. 1.4.3 Величина массы $\psi(2S)$ по данным разных экспериментов и её среднее значение (показано вертикальной полосой).

Измерение $\Gamma_{ee} \times Br(\psi(2S) \rightarrow$ адроны)

В 2011 году был выполнен анализ данных с целью измерения величины $\Gamma_{ee} \times Br(\psi(2S) \rightarrow$ адроны). Получено значение:

$$\Gamma_{ee} \times Br(\psi(2S) \rightarrow \text{адроны}) = 2,233 \pm 0,015 \pm 0,037 \pm 0,020 \text{ кэВ}.$$

Данные детектора КЕДР позволяют вычислить значение величины Γ_{ee} . Используя приведённый выше результат для $\Gamma_{ee} \times Br(\psi(2S) \rightarrow$ адроны) и независимые средние значения для $Br(\psi(2S) \rightarrow$ адроны) и $Br(\psi(2S) \rightarrow e^+e^-)$ (PDG2010), получаем следующее значение полной и электронной ширины Γ_{ee} для $\psi(2S)$ -мезона:

$$\Gamma = 296 \pm 2 \pm 8 \pm 3 \text{ кэВ}.$$

$$\Gamma_{ee} = 2,282 \pm 0,015 \pm 0,038 \pm 0,021 \text{ кэВ}.$$

Достигнутая точность определения парциальных ширин $\psi(2S)$ в два раза превосходит точность аналогичных измерений, проведённых в предыдущих экспериментах (см. Рис.1.4.4).

Результаты измерений будут опубликованы в 2012 году.

1.4.4 Измерение массы τ -лептона

Принцип лептонной универсальности - один из фундаментальных принципов Стандартной модели - состоит в требовании равенства констант слабого взаимодействия лептонов e^\pm, μ^\pm, τ^\pm .

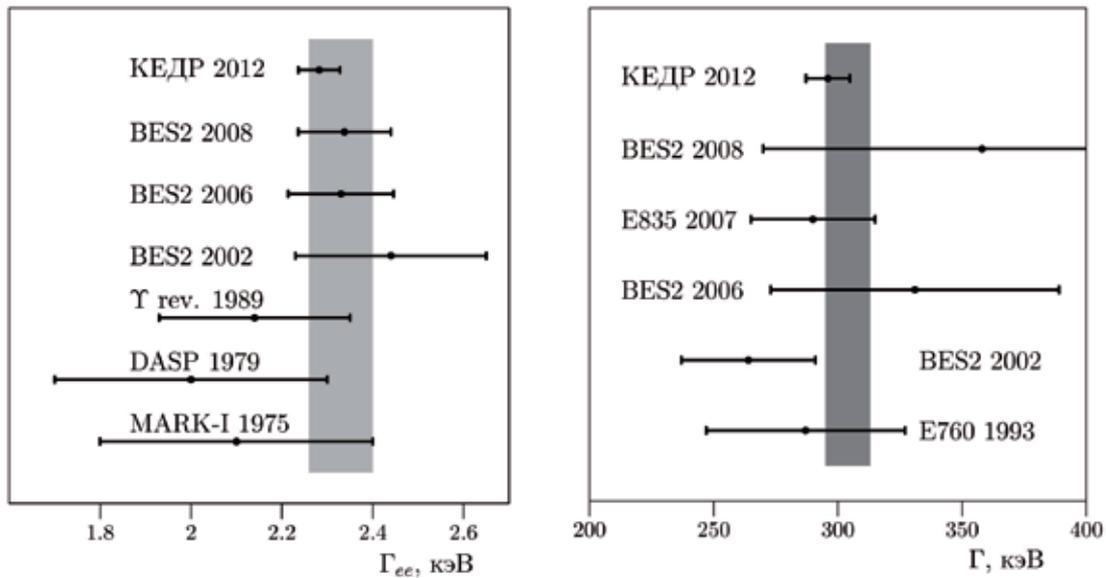


Рис. 1.4.4 Электронная и полная ширина $\psi(2S)$ по данным разных экспериментов. Средние значения, приводимые PDG-2010, показаны вертикальными полосами.

При наличии μ - τ универсальности должно выполняться равенство

$$\left(\frac{G_\tau}{G_\mu}\right)^2 = \left(\frac{m_\mu}{m_\tau}\right)^5 \left(\frac{t_\mu}{t_\tau}\right) Br(\tau \rightarrow e \nu_\tau \bar{\nu}_e) \cdot \frac{F_{cor}(m_\mu, m_e)}{F_{cor}(m_\tau, m_e)} \equiv 1$$

(Так как $Br(\mu \rightarrow e \nu_\mu \bar{\nu}_e) = 1$). Используя данные PDG за 2010-й год, для экспериментального значения этого отношения получаем $1,0029 \pm 0,0045$, что меньше, чем на 1σ , отличается от 1. Основной вклад в ошибку дают неопределённости, с которыми известны время жизни τ -лептона ($\pm 0,34\%$) и $Br(\tau \rightarrow e \nu_\tau \bar{\nu}_e)$ ($\pm 0,28\%$). Ошибка в величине среднего значения массы τ -лептона составляет $\pm 0,009\%$, её вклад в приведённое выше отношение ($\pm 0,045\%$) сейчас невелик. Величина этой ошибки заметно уменьшилась после включения в таблицы PDG нашего измерения m_τ , имеющего лучшую в мире точность (2007 год). Тем не менее, измерение массы τ -лептона с возможно лучшей точностью остаётся интересной задачей и может быть востребовано в будущем. Такой эксперимент начат в 2011 году с участием физиков ИЯФа на e^+e^- -коллайдере в Пекине.

В 2011 году была продолжена обработка всей набранной детектором КЕДР статистики ($15,2 \text{ пб}^{-1}$) с целью уточнения массы τ -лептона, величины систематических ошибок измерения.

Было получено значение массы

$$m_\tau = 1776,69^{+0,17}_{-0,19} \pm 0,15 \text{ МэВ}.$$

Анализ систематических ошибок продолжается, возможно, что этот результат будет ещё уточнён.

1.4.5 Заключение

В заключение следует отметить, что работа, выполненная на детекторе КЕДР, под названием: "В экспериментах с детектором КЕДР на ВЭПП-4 с лучшей в мире точностью измерены

параметры $\psi(2S)$ и $\psi(3770)$ -мезонов и установлено наиболее чувствительное ограничение на сечение рождения узких резонансов в области энергий $2E=1,85\text{-}3,1 \text{ ГэВ}$ " признана лучшей работой ИЯФ СО РАН в 2011 году в области физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий.

В 2011 году по результатам экспериментов с детектором КЕДР было опубликовано 4 статьи, 5 препринтов, представлено 3 доклада на Научной сессии-конференции секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий" (ноябрь, Москва), 2 доклада на конференции "От Фи до Пси" (сентябрь, Новосибирск), доклад на 22-ой Международной конференции по магнитным технологиям (сентябрь, Марсель), доклад на XXI Европейской физической конференции по физике высоких энергий (июль, Гренобль), доклад на Международной конференции по адронной спектроскопии HADRON'11 (июль, Мюнхен), доклад на 8 Международном совещании рабочей группы по кваркониям (октябрь, Дармштадт), была защищена 1 докторская диссертация. По результатам экспериментов по тематике ФАРИЧ в 2011 году было опубликовано 2 статьи, представлено 6 докладов на международных и всероссийских рабочих совещаниях и доклад на экспериментальном семинаре ИЯФ СО РАН.

Работы выполнены при частичной поддержке грантов РФФИ 09-02-01143-а, 10-02-00871-а, 10-02-00904-а, 11-02-00558-а, 11-02-01064-а, 11-02-01422-а, 11-02-05024-б, Гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ НШ-6943.2010.2, Междисциплинарного проекта СО РАН №100 (2009--2011), а также при финансовой поддержке Минобрнауки России.

1.5 Детекторы для ФВЭ

В 2011 году в рамках модернизации электроники детекторов был выполнен существенный объём работ.

КЕДР:

1. Изготовлены новые дискриминаторы для мюонной системы (сейчас устанавливаются).
2. Доделан блок резервного питания для клапанов криогенной системы.
3. Разработан и изготовлен второй вариант модуля управления теми же клапанами.
4. Изготовлен прототип и настраивается блок управления форвакуумной станцией.
5. Проведен ремонт камерной электроники криптонового калориметра и ведётся ремонт с частичной заменой усилителей CsI калориметра.

1.6 Рентгеновские детекторы

В 2011 году была сформулирована концепция развития аппаратуры регистрации для исследования динамики взрывов. Существующий детектор DIMEX имеет однокоординатную шкалу, что является существенным ограничением в некоторых экспериментах. Предполагается разработать многострочный координатный детектор, в котором в качестве регистрирующих элементов будут использованы кремниевые микрополосковые структуры. В настоящее время ведётся работа по составлению технического задания на разработку и производство в 2012 году опытных образцов таких структур.

В 2011 году был выполнен контракт на поставку в Институт кристаллографии РАН (г.Москва) рентгеновского детектора ОД-3М.

1.7 Прочие работы

В рамках международных проектов сотрудники продолжали активно участвовать в работах, связанных с разработкой новой системы сбора данных детектора BELLE-II (КЕК, Япония). Изготовлены двенадцать 16-ти канальных плат усилителей-формирователей для

СНД:

1. Изготовлены и проверены запасные модули для триггера - логика треков и логика калориметра (сделан стенд для их проверки).
2. Изготовлена новая frontend электроника для первого слоя калориметра и её половина установлена на детектор и работает.
3. Разработана и находится в производстве подобная электроника для второго и третьего слоёв калориметра.
4. Изготовлен прототип модуля регистрации формы сигнала для калориметра. С его помощью проведены исследования о возможном временном разрешении калориметра.
5. Улучшено почти в 3 раза временное разрешение триггера калориметра с помощью коррекции ИПТ модулей.

Ещё один такой детектор установлен на канале №5 источника СИ ВЭПП-3 вместо использовавшегося там в течение ряда лет детектора ОД-3.

В 2011 году изготовлены образцы информационных плат и стенд для их проверки для детектора ОД-4, предназначенного для экспериментов по широко - угловому рассеянию на СИ. В ОД-4 вместо проволочной структуры, как, например, в ОД-3М, используется многокаскадный газовый электронный умножитель (ГЭУ), что позволяет, наряду с высоким газовым усилением (более 10000), построить детектор в виде дуги с произвольной угловой апертурой. Выполнен существенный объём работ по разработке топологии материнской платы и ПО детектора.

цилиндрической части калориметра на кристаллах CsI(Tl).

Спроектирована и находится в производстве 2-я версия модуля Коллектора для считывания данных с плат усилителей-формирователей.

1.8 Микроструктурные газовые детекторы

Развитие детекторов на основе Газовых Электронных Умножителей (ГЭУ или GEM) было продолжено в 2011 году. Работа проводилась в нескольких направлениях:

1) Развитие двухфазных криогенных лавинных детекторов (КЛД или CRAD) на основе толстых ГЭУ (ТГЭУ или THGEM) для низкофонных экспериментов по поиску темной материи и регистрации когерентного рассеяния нейтрино на ядрах и для медицинской визуализации.

2) Изучение инфракрасных (ИК) сцинтилляций в газообразном и жидком Ar при криогенных температурах.

2) Модернизация системы рассеянных электронов в эксперименте КЕДР.

3) Участие в коллаборациях: в RD51 в CERN по развитию микроструктурных газовых детекторов и в TPC для International Linear Collider.

1.8.1 Двухфазные криогенные лавинные детекторы (КЛД) на основе ТГЭУ

Основной целью проекта является развитие методов регистрации нейтрино и темной материи и медицинской визуализации с помощью разработки так называемых криогенных лавинных детекторов (КЛД или CRAD) на основе жидкого Ar и Xe, то есть криогенных детекторов с электронным лавинным усилением, осуществляемым непосредственно в детектирующей среде. Лавинное усиление осуществляется с помощью газовых электронных умножителей (ГЭУ или GEM), работающих в плотных благородных газах при криогенных температурах. Такая широкая область применений КЛД базируется на уникальном свойстве ГЭУ, обнаруженном нами в предыдущих проектах, иметь высокие газовые усиления в плотных благородных газах при криогенных температурах. КЛД на основе ГЭУ могут применяться для регистрации когерентного рассеяния нейтрино на ядрах и поиска темной материи с использованием двухфазных (жидкость-газ) Ar и Xe и в позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) с использованием жидкого или двухфазного Xe. Важной целью проекта является повышение чувствительности КЛД для низкофонных экспериментов до режима счета одиночных электронов. Это будет достигнуто, в частности, за счет использования комбинированного умножителя, состоящего из тонких и толстых ГЭУ, а также за счет оптического считывания с ГЭУ с помощью гейгеровских лавинных фотодиодов (ГЛФД или GAPD) в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне: см. Рис. 1.8.1. Целью проекта является также разработка практического КЛД объемом 10 л, работающего в Ar и Xe. Будет изучен отклик

детектора на отскоки ядер, индуцированные рассеянием нейтронов и имитирующие сигнал от когерентного рассеяния нейтрино и темной материи. Результаты этих исследований будут использованы для проектирования детектора объемом 100 л, который будет уже достаточно большим для полномасштабных экспериментов по когерентному рассеянию нейтрино, поиску темной материи и ПЭТ. Применения в области медицинской визуализации, в ПЭТ, и в области когерентного рассеяния нейтрино на ядрах, для дистанционного контроля ядерных реакторов с помощью измерения потока нейтрино, могут представлять значительный коммерческий интерес и в области нераспространения ядерного оружия.

В 2011 году продолжались интенсивные исследования КЛД на новой модернизированной установке с криогенной камерой объемом 9 л.

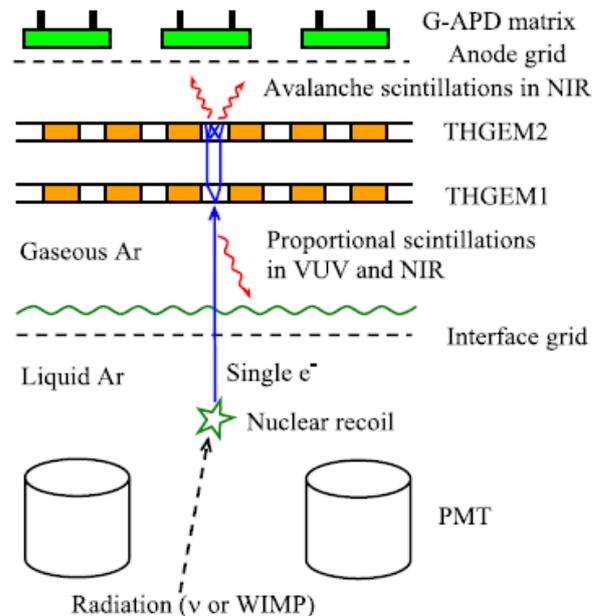


Рис. 1.8.1 Схема и принципы работы двухфазного криогенного лавинного детектора (КЛД или CRAD) в Ar на основе толстых газовых электронных умножителей (ТГЭУ или THGEM) с оптическим считыванием с помощью гейгеровских лавинных фотодиодов (ГЛФД или GAPD). Детектор предназначен для низкофонных экспериментов по регистрации когерентного рассеяния нейтрино на ядрах и поиска темной материи.

Был исследован двухфазный КЛД на основе ТГЭУ, впервые в Xe, как с зарядовым считыванием, так и с оптическим считыванием сигнала с помощью ГЛФД. Была продемонстрирована стабильная работа двухкаскадного ТГЭУ с активной площадью $2.5 \times 2.5 \text{ см}^2$ в двухфазном КЛД в Xe: зарядовое усиление достигало зна-

чения 600 при довольно низком уровне шумов (порядка нескольких Гц); см. Рис. 1.8.2. С другой стороны, максимальное достигнутое усиление было в 5 раз ниже, чем в двухфазном Ar.

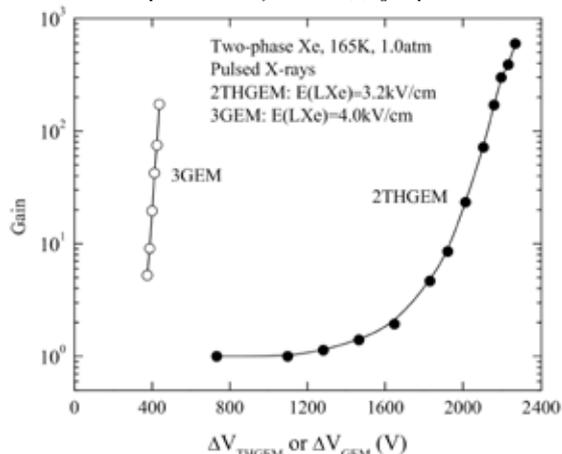


Рис. 1.8.2 Усилительная характеристика двухкаскадного ТГЭУ в двухфазном КЛД в Хе. Для сравнения показана характеристика трехкаскадного ГЭУ.

Были проведены дальнейшие исследования по оптическому считыванию с комбинированным умножителем ТГЭУ/ГЛФД в Хе в ближнем ИК диапазоне (до 1000 нм), при 200 К в газовой фазе. На Рис. 1.8.3 (левый), в частности, показан спектр ИК сцинтилляций в Хе и Ar, а также эффективность регистрации фотона ГЛФД. На Рис. 1.8.3 (правый) показан типичный оптический и зарядовый сигнал с комбинированного умножителя ТГЭУ/ГЛФД при зарядовом уси-

лении 350 и облучении рентгеновскими лучами с энергией 60 кэВ. Амплитуда оптического сигнала при зарядовом усилении 350 составила 0,07 фотоэлектрона на первичный (до усиления) электрон при угле обзора ГЛФД $\pm 70^\circ$. Это на порядок ниже амплитуды, полученной в Ar в двухфазном режиме при аналогичном зарядовом усилении. Более слабый оптический сигнал соответствует меньшей степени перекрытия спектров ИК сцинтилляций и чувствительности ГЛФД в Хе по сравнению с Ar.

Таким образом, сделан вывод о том, что зарядовое усиление в двухфазном ДКЛД в Хе может оказаться достаточным для ПЭТ-приложений. С другой стороны оно недостаточно для детекторов предельной чувствительности, необходимых для низкофоновых экспериментов; для этих применений двухфазные ДКЛД в Ar остаются предпочтительными.

Исследования криогенных лавинных детекторов будут продолжены в 2012 году по следующим направлениям:

- изучение работы ТГЭУ и комбинированного умножителя ТГЭУ/ГЭУ с активной площадью $10 \times 10 \text{ см}^2$ в двухфазном КЛД в Ar и Ar+N₂;
- изучение работы двухфазного КЛД на основе ТГЭУ в Ar с толщиной жидкого слоя 5 см;
- изучение двухфазного КЛД в Ar с оптическим считыванием с ТГЭУ с помощью матрицы ГЛФД с количеством элементов 3x3.

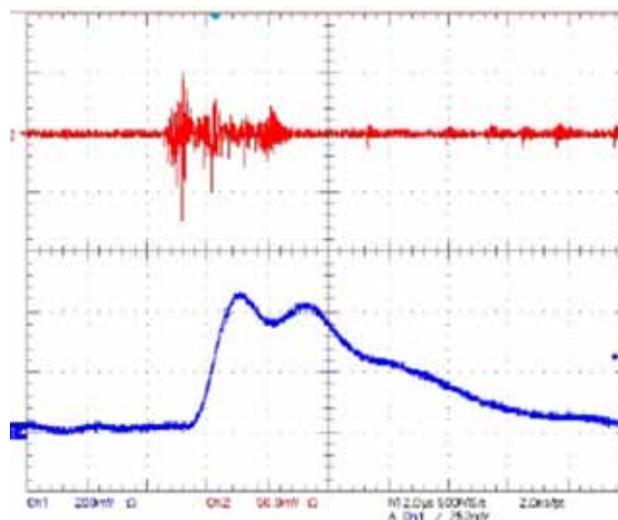
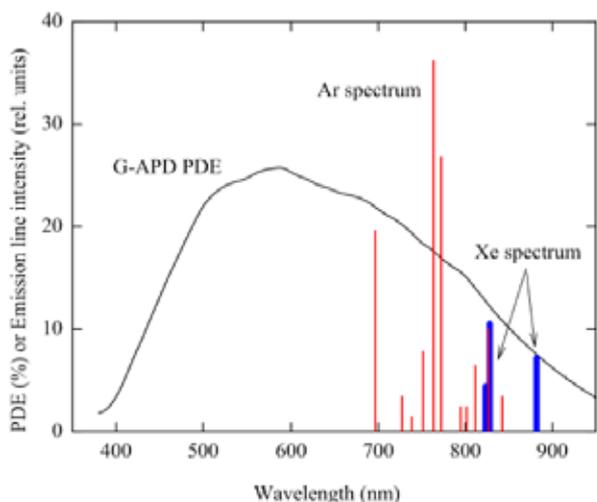


Рис. 1.8.3 Левый рисунок: спектры сцинтилляций в газообразном Ar и Хе в ближней ИК области и спектр эффективности регистрации фотона в ГЛФД. Правый рисунок: типичный оптический (верхняя развертка) и зарядовый (нижняя развертка) сигнал с комбинированного умножителя ТГЭУ/ГЛФД в газообразном Хе при 200 К, при зарядовом усилении 350 и облучении рентгеновскими лучами с энергией 60 кэВ.

1.8.2 Изучение инфракрасных (ИК) сцинтилляций в газообразном и жидком Ar при криогенных температурах.

Успешные результаты по оптическому считыванию лавинных сцинтилляций в Ar в комбинированном умножителе ТГЭУ/ГЛФД инициировали исследования по первичным и вторичным ИК сцинтилляциям в газообразном и жидком Ar при криогенных температурах. В результате этих исследований в 2011 году были впервые измерены световыходы первичных и вторичных (пропорциональных) сцинтилляций в газообразном и жидком Ar в диапазоне 400-1000 нм. Для проведения измерений был разработан новый метод измерения световыхода сцинтилляций. В этом методе применялись ГЛФД, чувствительные в ближней ИК области спектра и работающие в режиме счета фотонов с временным разрешением. Ниже приведены результаты этих исследований.

Было подтверждено, что в газообразном Ar первичные сцинтилляции излучают в ближнем ИК диапазоне. Их световыход (быстрая компонента) составил 17000 ± 3000 фотонов/МэВ в диапазоне 690-1000 нм (Рис. 1.8.4, левый). Это сопоставимо со световыходом сцинтилляций в

ВУФ диапазоне для газообразного Ar и Хе.

В жидком Ar световыход первичных сцинтилляций (быстрая компонента) оказался значительно ниже (Рис. 1.8.4, левый): он составил 510 ± 90 фотонов/МэВ в диапазоне 400-1000 нм. Тем не менее, это сравнимо со световыходом быстрых твердых сцинтилляторов, используемых в калориметрии в физике высоких энергий.

Были обнаружены пропорциональные сцинтилляции (электролюминесценция) в ближней ИК области в газообразном Ar (Рис. 1.8.4, правый). Параметр пропорциональности электролюминесценции (наклон прямой на Рис. 1.8.4, правый) при 163 К составил 13 фотонов на электрон на кВ. Это несколько меньше, чем в ВУФ области. Тем не менее, пропорциональные сцинтилляции могут существенно увеличить световыход в ИК области по сравнению с первичными сцинтилляциями, до сотен тысяч фотонов на МэВ.

В отличие от газообразного Ar, в жидком Ar пропорциональных сцинтилляций не наблюдалось вплоть до электрического поля 30 кВ/см.

Исследования по ИК сцинтилляциям в благородных газах будут продолжены в 2012 году.

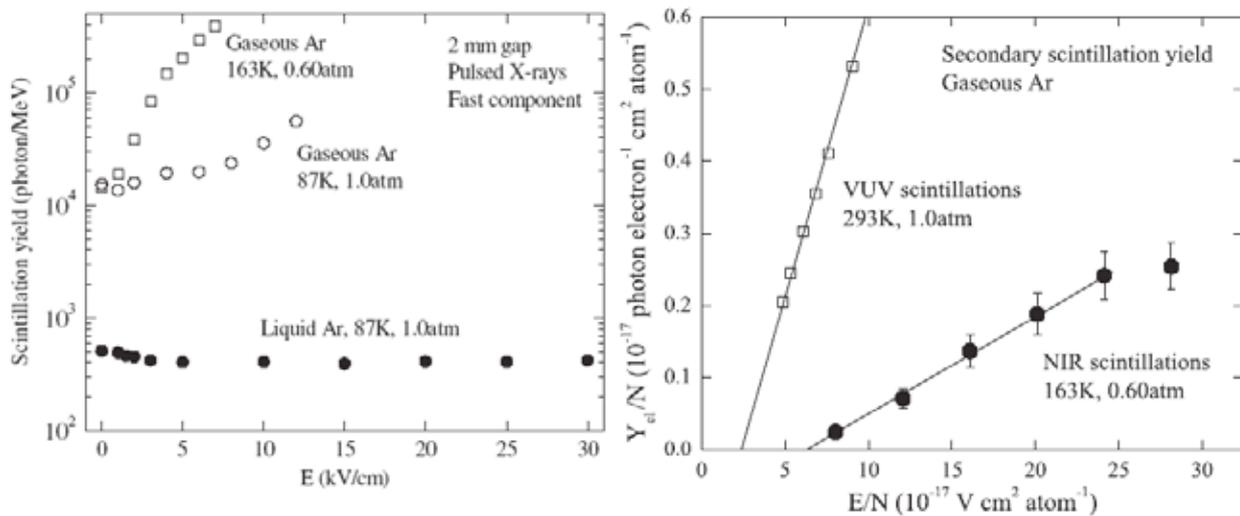


Рис. 1.8.4 Левый рисунок: световыход сцинтилляций в газообразном и жидком Ar при криогенных температурах в зависимости от напряженности электрического поля; область первичных сцинтилляций соответствует полю <1 кВ/см. Правый рисунок: зависимость приведенного световыхода вторичных сцинтилляций (электролюминесценции) от приведенного электрического поля в ближнем ИК диапазоне и в ВУФ области.

1.8.3 Модернизация системы рассеянных электронов в эксперименте КЕДР

Система регистрации рассеянных электронов является существенной частью эксперимента КЕДР и позволяет регистрировать электроны, рассеянные из места встречи под малыми углами. Такие электроны являются характерным признаком фотон-фотонного взаимодей-

ствия и их регистрация и точное измерение импульса представляется важной физической задачей.

Для того чтобы получить предельное разрешение по импульсу рассеянных электронов, обусловленное параметрами пучка в ускорителе, а также улучшить разделение сигнала и фона, каждая из 8 станций системы оснащается детектором на основе тройного ГЭУ с двух-

координатным съемом. Детекторы позволяют измерять координату в плоскости орбиты с разрешением $\sim 0,1$ мм. В направлении перпендикулярном плоскости орбиты пространственное разрешение составит $\sim 0,25$ мм в области ± 1 см от орбиты и ~ 1 мм на большем расстоянии от плоскости орбиты. Для получения требуемых параметров была разработана специальная конструкция считывающей плоскости с переменным углом стерео-полосок. Размеры детекторов составляют от 125×100 мм² до 250×100 мм² в зависимости от типа станции.

В течение 2010 года система детекторов на основе ГЭУ (ГЭУ-СРРЭ) была полностью запущена и начала постоянно работать в составе системы сбора данных детектора КЕДР. В течение сезона 2010-2011 (ноябрь 2010 – март 2011) система участвовала в наборе статистики в области энергий 3,2 ГэВ — 8 ГэВ. На Рис. 1.8.5 и 1.8.6 показан коэффициент газового усиления и эффективность всех 8-ми детекторов системы в зависимости от времени прошедшего с начала сезона.

Видно, что детекторы стабильно работают в течение длительного времени при высоком коэффициенте усиления 20000-40000 и эффективности 95-97%. При этом не наблюдается никаких признаков пробоев и последующих повреждений структуры детекторов и электроники.

1.8.4 Участие в коллаборациях

Группа микроструктурных газовых детекторов ИЯФ является членом международной коллаборации RD51 в CERN по развитию микроструктурных газовых детекторов, образованной в 2008 году. В 2011 году группа продолжила участие в деятельности этой коллаборации.

В 2011 году продолжалось участие сотрудников группы микроструктурных газовых детекторов в разработке ТРС для Международного Линейного Коллайдера (ILC). В настоящее время каскадный ГЭУ рассматривается как наиболее вероятный кандидат в качестве торцевого регистрирующего детектора ТРС.

Работы по криогенным лавинным детекторам поддержаны следующими грантами: в 2009-2012 годах - федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» 2009–2013 гг. (контракты Министерства образования и науки П682 и П980); в 2011-2013 годах - грантом правительства РФ 11.G34.31.0047.

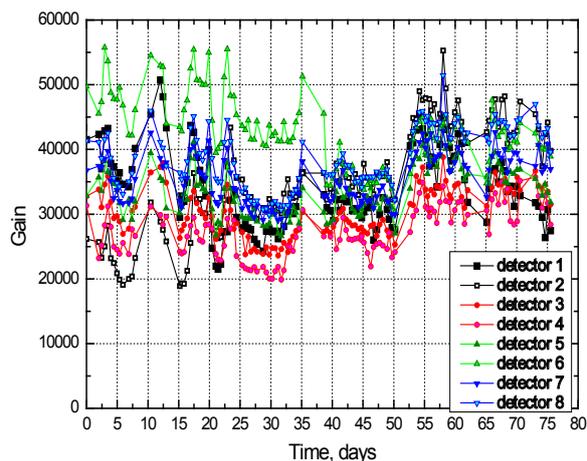


Рис. 1.8.5 Коэффициент газового усиления детекторов ГЭУ-СРРЭ в зависимости от времени.

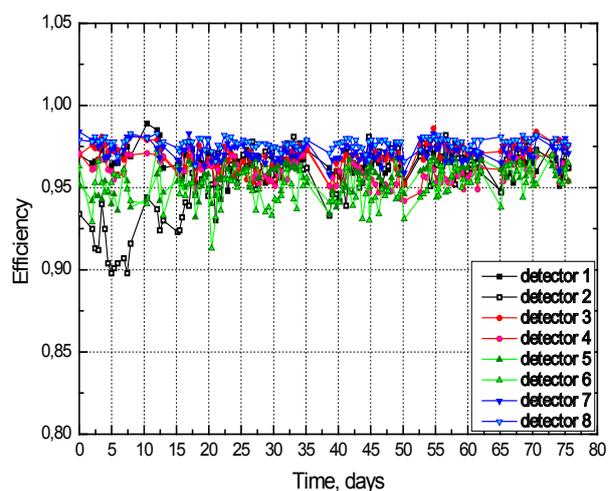


Рис. 1.8.6 Эффективность детекторов ГЭУ-СРРЭ в зависимости от времени.

1.9 Эксперимент Belle

1.9.1 Основные результаты

- Разработан метод учета интерференции в распадах $B^\pm \rightarrow K^\pm \eta_c^{(\prime)}$, измерены параметры чармониев η_c и η_c' , а также произведения относительных вероятностей их рождения и распада.
- Разработана модельно-независимая методика измерения вероятности распада $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$.
- Впервые обнаружены заряженные боттомоний-подобные состояния $Z(10610)$ и $Z(10650)$. Предложена модель, рассматривающая их как четырехкварковые связанные системы BB^* и B^*B^* мезонов, соответственно.
- Завершена работа по поиску нарушающих лептонный аромат распадов $\tau \rightarrow l V^0$.
- Завершена работа по поиску CP-нарушения в распаде $\tau^\pm \rightarrow K_S^0 \pi^\pm \nu_\tau$.
- Продолжен анализ с целью поиска нарушающих лептонный аромат распадов $\tau \rightarrow l h h'$.
- Закончена разработка и изготовлен пилотный вариант нового модуля формирователя-оцифровщика в стандарте VME, измерены его характеристики.
- Разработаны механические и электрические спецификации для нового VME крейта.
- Были проведены измерения световых хода и неоднородности для партии кристаллов чистого CsI, произведенных в Харькове.

1.9.2 Анализ данных эксперимента Belle

Основным направлением рабочей группы является сотрудничество в области физики элементарных частиц с Лабораторией Ускорителей высоких энергий (КЕК), Цукуба, Япония, являющейся одной из крупнейших и быстро развивающихся лабораторий мира в области физики высоких энергий. В последние годы руководство КЕК активно расширяет международное сотрудничество с целью сделать КЕК международным центром в этой области физики. Одним из основных экспериментов в физике элементарных частиц в Японии в настоящее время является изучение CP-нарушения в распадах В-мезонов с детектором Belle на электрон-позитронном накопителе с самой высокой в мире светимостью (так называемой В-фабрике).

Активное участие в проекте Belle с самого его начала принимает группа сотрудников Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН. Новосибирские физики внесли большой вклад в создание электромагнитного калориметра детектора Belle как на этапе проектирования, так и при изготовлении элементов этого самого большого в мире калориметра на основе

монокристаллов йодистого цезия, его сборке и наладке.

В 2010 году детектор Belle был остановлен для модернизации. Набранная к настоящему моменту интегральная светимость превышает 1040 обратных фемтобарн. Сейчас продолжается обработка этих экспериментальных данных и ведется модернизация детектора и ускорителя для увеличения светимости установки и подготовки экспериментов, которые позволят на порядок улучшить точность измерения параметров CP-нарушения и, возможно, наблюдать проявление физических явлений, выходящих за рамки Стандартной Модели.

Российские физики из ИЯФ СО РАН принимают активное участие как в работах по модернизации детектора, так и в обработке набранных экспериментальных данных.

Изучение чармониев η_c и $\eta_c(2S)$ в распадах В мезонов

Группой сотрудников ИЯФ были проведены исследования свойств частицы η_c и ее возбужденного состояния $\eta_c(2S)$. Эти частицы являются связанными состояниями с и анти-с кварков (так называемые, чармонии). В качестве их источника рассматривался распад В мезона в К мезон и чармоний, в свою очередь распадающийся в адроны ($K_S K_\pi$). Распады В мезона в то же конечное состояние ($KK_S K_\pi$), но без образования промежуточного чармония, называются нерезонансным вкладом. Интерференция с нерезонансным вкладом ведет к значительной модельной ошибке в измерении параметров чармония и производений парциальных ширин распадов В мезона и чармония. Для уменьшения этой модельной ошибки была проведена оценка интерференции с помощью подгонки двумерного распределения по $\cos\theta$ (косинус угла между К мезоном из распада В и K_S мезоном) и инвариантной массе $K_S K_\pi$. Результаты подгонки показаны на Рис. 1.10.1. Предложенная в данной работе процедура учета интерференции является модельно независимой, впервые она не содержит предположений о фазе или абсолютном значении интерференции. Результатами данного исследования являются произведения парциальных ширин распадов В мезона и чармония, а также значения масс и ширин η_c и $\eta_c(2S)$ мезонов. Благодаря большому объему данных результаты имеют маленькие статистические ошибки и позволяют улучшить соответствующие среднемировые значения. Результаты работы были опубликованы в журнале Physics Letters B.

Модельно независимое измерение относительной вероятности распада $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$

Абсолютное значение относительной вероятности распада $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$ является важной

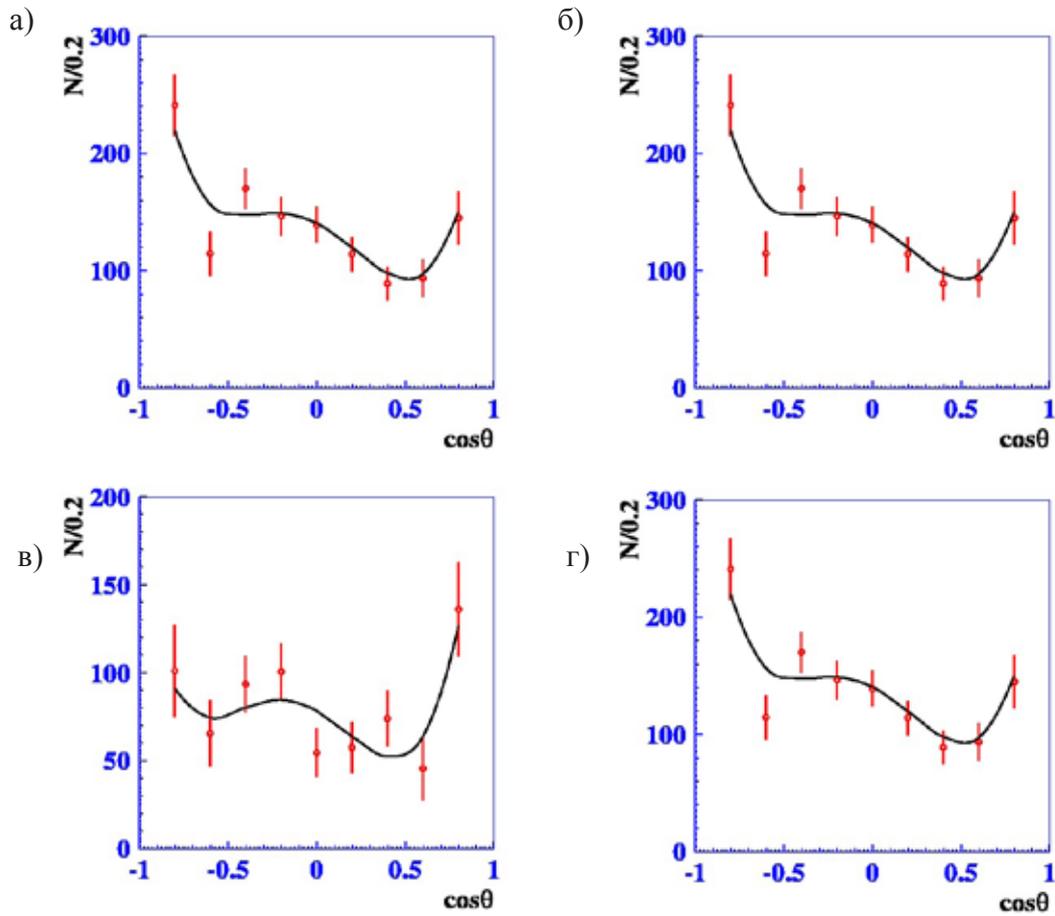


Рис. 1.9.1. Проекция подгонки двумерного распределения по $\cos\theta$ и инвариантной массе $K_S K_L$ в случае распада η_c (а, б) и $\eta_c(2S)$ (в, г) мезонов.

величиной для теории физики тяжёлых кварков, так как вероятности большинства других распадов Λ_c^+ бариона экспериментально измерены относительно этой моды. Значение абсолютной вероятности распада $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^+ \pi^+$, $(5,0 \pm 1,3)\%$, имеет большую неопределённость, 26%, в основном, из-за зависимости проделанных измерений от теоретических моделей. Сотрудниками ИЯФ СО РАН была разработана модельно независимая методика измерения вероятности распада $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^+ \pi^+$, основанная на выделении эксклюзивного процесса $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c^+ p^- D^0$ двумя способами: (1) восстановление Λ_c^+ в массе отдачи (Рис. 1.10.2 (а)) и (2) поиск искомого процесса с регистрацией Λ_c^+ в инвариантной массе $p K^+ \pi^+$, например, восстановление $D^{(*)0}$ мезона в массе отдачи (Рис.1.9.2 (б)). Отношение (2) к (1) даёт искомым результат с погрешностью порядка 10% (с учётом систематических неопределённостей). Работа близка к завершению, и после процедуры обсуждения внутри коллаборации будет опубликована.

Обнаружение экзотических состояний $Z(10610)$ и $Z(10650)$

В 2008 году при анализе данных, набранных в области энергий $Y(5S)$, коллаборацией Belle было обнаружено, что вероятности перехода $Y(5S) \rightarrow Y(nS) \pi^+ \pi^-$, где $n=1, 2, 3$, почти на

два порядка превышают ожидаемые значения. Ограниченная статистика не позволила тогда провести более подробный анализ. К 2010 году в области энергий $Y(5S)$ был набран интеграл светимости более 120 фб^{-1} . Это позволило провести полный амплитудный анализ трехчастичных распадов $Y(5S) \rightarrow Y(nS) \pi^+ \pi^-$, $n=1, 2, 3$. Анализ данных был проведен группой ИЯФ СО РАН, входящей в коллаборацию Belle.

Для анализа использовались полностью восстановленные события $Y(5S) \rightarrow Y(nS) \pi^+ \pi^-$, где $Y(nS)$ восстанавливался в канале распада $Y(nS) \rightarrow \mu^+ \mu^-$. Для подавления фона требовалась надежная идентификация мюонов системой KLM детектора Belle. Для выделения сигнала строилась зависимость инвариантной массы пары мюонов от величины $MM(\pi^+ \pi^-)$, где $MM(\pi^+ \pi^-)$ – недостающая масса для пары пионов, вычисленная из закона сохранения энергии-импульса в предположении известного начального четырехимпульса. Соответствующее распределение показано на Рис.1.9.3, где сигнал от распадов $Y(5S) \rightarrow Y(nS) \pi^+ \pi^-$, $Y(nS) \rightarrow \mu^+ \mu^-$ группируется по диагонали в областях соответствующих массам $Y(nS)$.

Для дальнейшего анализа отбирались события, удовлетворяющие общему для всех конечных состояний требованию $|MM(\pi^+ \pi^-)|$

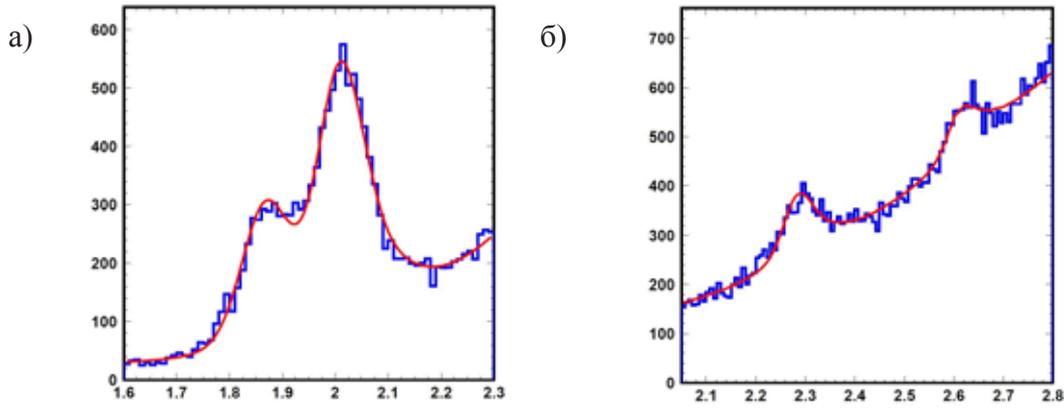


Рис. 1.9.2. (а) Масса отдачи ($D^0 p$) в $\text{ГэВ}/c^2$ для процесса $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c^+ p^- D^0$, $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$. Пик справа - $\Lambda_c(2625)^+$. (б) Масса отдачи ($\Lambda_c^+ p$) в $\text{ГэВ}/c^2$ для процесса $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c^+ p^- D^{*0}$, $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^+ \pi^-$.

$M(\mu^+\mu^-) < 150 \text{ МэВ}/c^2$ и требованию $|M(\pi^+\pi^-) - M_{Y(nS)}| < 50 \text{ МэВ}/c^2$ для выделения сигнала в канале $Y(5S) \rightarrow Y(nS)\pi^+\pi^-$. Для отобранных событий строилось двумерное (Далиц) распределение $M^2(Y(nS)\pi^\pm)$ от $M^2(\pi^+\pi^-)$. Для определения распределения событий фона использовались события вне сигнальных областей $50 \text{ МэВ}/c^2 < |M(\pi^+\pi^-) - M_{Y(nS)}| < 150 \text{ МэВ}/c^2$. Далиц распределения для фоновых и сигнальных событий для распада $Y(5S) \rightarrow Y(2S)\pi^+\pi^-$ показаны на Рис.1.9.4.

Существенным источником фона для изучаемых процессов являются события $Y(5S) \rightarrow \mu^+\mu^- \gamma$, в которых фотон в дальнейшем конвертирует в e^+e^- пару. Ввиду малости импульсов треков электронная идентификация детектора Belle в этом случае имеет малую эффективность. Однако такие события могут быть легко отброшены требованием $M(\pi^+\pi^-) > 0,4 \text{ ГэВ}/c^2$. Распределение фоновых событий по оставшейся части Далиц распределения хорошо согласуется с равномерным. Одномерные распределения по двухчастичным инвариантным массам показаны на Рис.1.9.5.

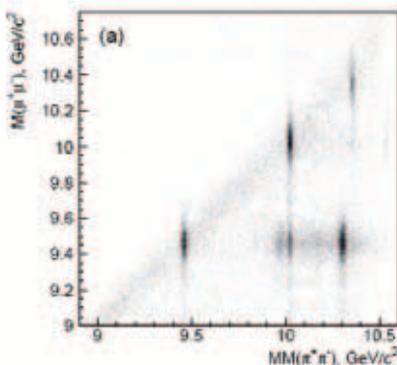


Рис. 1.9.3. Зависимость $M(\mu^+\mu^-)$ от $M(\pi^+\pi^-)$.

Распределение сигнальных событий по Далиц плотности для всех трех конечных состояний параметризовалось следующей общей моделью:

$$A_{Y\pi\pi} = A_{Z1} + A_{Z2} + A_{f_0} + A_{f_2} + A_{NR},$$

где A_{Z1} и A_{Z2} – амплитуды распада $Y(5S)$ с

образованием промежуточных Z состояний, A_{f_0} и A_{f_2} – амплитуды распадов $Y(5S) \rightarrow Y(nS)f_0(980)$ и $Y(5S) \rightarrow Y(nS)f_2(1270)$, соответственно, A_{NR} – амплитуда нерезонансного распада. В процессе аппроксимации экспериментальных данных комбинацией сигнального и фонового распределений определялись относительные фазы и вклады отдельных квазидвухчастичных амплитуд, а также массы и ширины Z состояний. При дальнейшем анализе данных по рождению состояний $h_b(1P)$ и $h_b(2P)$ группа ИТЭФ обнаружила, что основным механизмом рождения этих состояний боттомония является переход с промежуточным рождением одного из Z резонансов $Y(5S) \rightarrow Z\pi^\pm \rightarrow h_b\pi^+\pi^-$. Результаты определения параметров Z состояний представлены в таблице 1.9.1.

Важнейшим результатом данной работы стало первое наблюдение заряженных боттомоний-подобных состояний. Более того, существование распадов вида $Z \rightarrow Y(nS)\pi^\pm$ делает невозможным классификацию Z как двухкварковых систем. Минимальным набором, таким образом, является набор из четырех кварков. Авторы данной работы предложили рассматривать новые состояния как связанную систему B и B^* мезонов в случае $Z(10610)$ и систему B^*B^* мезонов в случае $Z(10650)$ состояния, соответственно. Такая модель хорошо согласуется со всеми наблюдаемыми свойствами Z состояний. Работа принята к публикации в журнале Phys. Rev. Lett.

Работы по исследованию распадов τ -лептона

Была завершена работа по поиску нарушающих лептонный аромат распадов $\tau \rightarrow lV^0$, где $l=e, \mu$, а $V^0=\rho^0, \omega, \phi, K^0, \text{anti-}K^0$, всего 10 различных мод распада. При анализе использовалась статистика, соответствующая 854 фб^{-1} или 782×10^6 рожденных пар τ -лептонов. Ни в одной моде искомый сигнал не превышает ожидаемого фона, что позволяет установить верхние пределы на относительные вероятности соответствующих

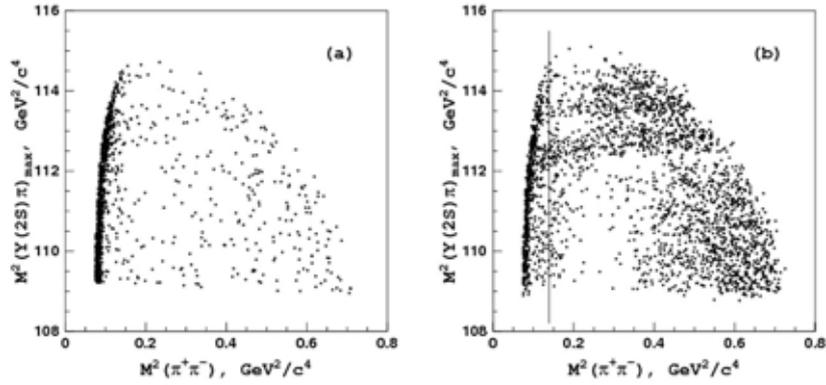


Рис. 1.9.4. Далиц распределения для фоновых событий (а) и событий из сигнальной области (б) для распада $Y(5S) \rightarrow Y(2S)\pi^+\pi^-$.

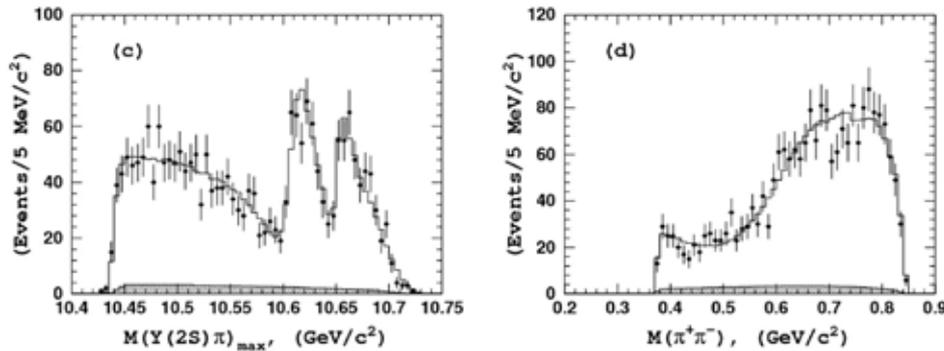


Рис. 1.9.5. Распределение по инвариантной массе $Y(2S)\pi^+$ системы (слева) и $\pi^+\pi^-$ системы (справа) для событий из сигнальной области для распада $Y(5S) \rightarrow Y(2S)\pi^+\pi^-$. Точки – экспериментальные данные, гистограмма – результат подгонки, заштрихованная гистограмма показывает ожидаемый уровень фоновых событий.

Таблица 1.9.1. Сравнение параметров Z состояний, измеренных в различных конечных состояниях.

Конечное состояние	$\Upsilon(1S)\pi^+\pi^-$	$\Upsilon(2S)\pi^+\pi^-$	$\Upsilon(3S)\pi^+\pi^-$	$h_b(1P)\pi^+\pi^-$	$h_b(2P)\pi^+\pi^-$
$M[Z_b(10610)], \text{MeV}/c^2$	$10611 \pm 4 \pm 3$	$10609 \pm 2 \pm 3$	$10608 \pm 2 \pm 3$	$10605 \pm 2^{+3}_{-1}$	10599^{+6+5}_{-3-4}
$\Gamma[Z_b(10610)], \text{MeV}$	$22.3 \pm 7.7^{+3.0}_{-4.0}$	$24.2 \pm 3.1^{+2.0}_{-3.0}$	$17.6 \pm 3.0 \pm 3.0$	$11.4^{+4.5+2.1}_{-3.9-1.2}$	13^{+10+9}_{-8-7}
$M[Z_b(10650)], \text{MeV}/c^2$	$10657 \pm 6 \pm 3$	$10651 \pm 2 \pm 3$	$10652 \pm 1 \pm 2$	$10654 \pm 3^{+1}_{-2}$	10651^{+2+3}_{-3-2}
$\Gamma[Z_b(10650)], \text{MeV}$	$16.3 \pm 9.8^{+6.0}_{-2.0}$	$13.3 \pm 3.3^{+4.0}_{-3.0}$	$8.4 \pm 2.0 \pm 2.0$	$20.9^{+5.4+2.1}_{-4.7-5.7}$	$19 \pm 7^{+11}_{-7}$
Относит. фаза, град.	$58 \pm 43^{+4}_{-9}$	$-13 \pm 13^{+17}_{-8}$	$-9 \pm 19^{+11}_{-26}$	187^{+44+3}_{-57-12}	$181^{+65+74}_{-105-109}$

распадов: $B(\tau \rightarrow eV^0) < (1,8 - 4,8) \times 10^{-8}$, $B(\tau \rightarrow \mu V^0) < (1,2 - 8,4) \times 10^{-8}$ на 95% уровне достоверности. Эти пределы в 5,7 раз улучшают прежние результаты Belle, а также являются более сильными, чем полученные на BaBar. Улучшение достигнуто благодаря увеличению использованной статистики, а также более сильному подавлению фоновых процессов. Работа опубликована в Physics Letters B.

Также завершена работа по поиску CP-нарушения в распаде $\tau^\pm \rightarrow K_S^0 \pi^\pm \nu_\tau$. При анализе использовалась статистика, соответствующая 699 fb^{-1} . Используя $(162,2 \pm 0,4) \times 10^3$ распадов $\tau^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+ \nu_\tau$ и $(162,0 \pm 0,4) \times 10^3$ распадов $\tau^- \rightarrow K_S^0 \pi^- \nu_\tau$, измерялась CP-асимметрия в четырех интервалах по инвариантной массе $K_S^0 \pi^\pm$ -системы (Рис. 1.9.6). Во всех интервалах асимметрия совместима с нулем с точностью $O(10^{-3})$ и позволяет установить верхние пределы на пара-

метр CP-нарушения $|T(\eta_s)| < 0,026$ на 95% уровне достоверности, что на порядок улучшает предыдущие результаты. Работа опубликована в Physical Review Letters.

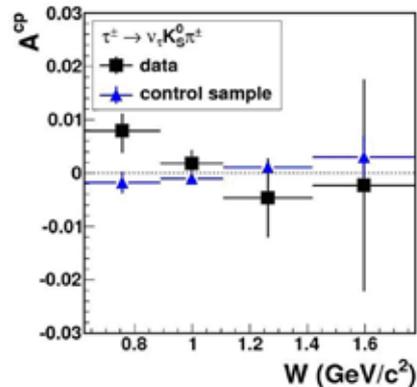


Рис. 1.9.6. Измеренная CP-асимметрия.

Модернизация детектора

В настоящее время ведется модернизация как детектора (Belle II), так и коллайдера для увеличения светимости установки до $8 \times 10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Новый эксперимент позволит измерить все углы треугольника унитарности с точностью несколько процентов и, возможно, позволит выйти за пределы Стандартной Модели. Кроме изучения механизма CP-нарушения, большой набор данных, полученный в этом эксперименте, позволит получить новые результаты по физике распадов B-, D-мезонов и τ -лептона.

Увеличение светимости и фоновой загрузки на коллайдере накладывает новые требования на системы детектора. Для обеспечения эффективной работы калориметра требуется его модернизация. Группа ИЯФ СО РАН участвует в методических работах по модернизации калориметрической системы детектора. Командой ИЯФ разработана и предложена схема модернизации калориметра.

Для цилиндрической части калориметра предполагается замена электроники счетчиков на схему с непрерывной оцифровкой сигналов со счетчиков и последующей подгонкой данных откликом известной формы. Такая процедура позволяет определять как энергию, так и время прихода сигнала. Использование временной информации позволяет в несколько раз подавить вероятность наложения фоновых кластеров.

Для торцевой части, где фоновые условия наиболее тяжелые, на первом этапе планируется модернизация электроники, а затем предполагается замена сцинтилляционных кристаллов CsI(Tl) на кристаллы неактивированного CsI с меньшим временем высвечивания. Это позволит улучшить временное разрешение счетчиков в 30 раз и, с учетом подгонки формы сигнала, обеспечить подавление фона более чем в 150 раз.

В 2011 году в ИЯФ СО РАН была закончена разработка и был изготовлен пилотный вариант модуля формирователя-оцифровщика в стандарте VME (Рис.1.9.7). Модуль является основным блоком новой системы электроники. Он служит для формирования сигналов со счетчиков, оцифровки формы сигнала с частотой около 2 МГц и последующей цифровой обработки с восстановлением амплитуды и времени прихода сигнала. Кроме того, модуль формирует быстрый аналоговый сигнал для использования в системе нейтрального триггера. По сравнению с предыдущей версией в новом модуле существенно уменьшена длительность триггерного сигнала для сокращения мертвого времени нейтрального триггера при работе в условиях непрерывной инжекции. Помимо этого, в модуль была добавлена возможность подачи калибровки индивидуально на каждый из 16 каналов, что важно для настройки и калибровки системы триггера.

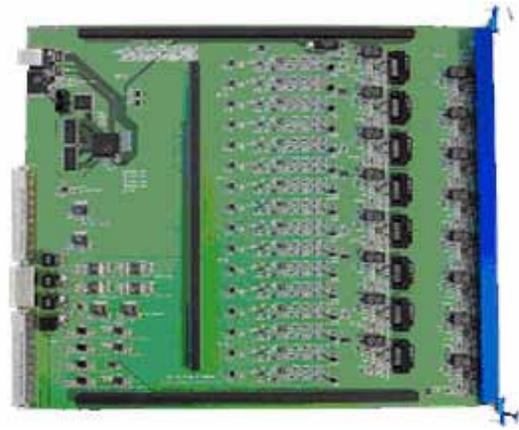


Рис. 1.9.7. Электронный модуль формирователя-оцифровщика в стандарте VME на 16 каналов.

Были проведены измерения характеристик модуля формирователя-оцифровщика. С помощью сигналов от космических частиц была детально измерена форма сигнала на входе оцифровки. Форма, показанная на Рис.1.9.8 (а), соответствует ожидаемой и разброс от канала к каналу не превышает 2%. С помощью калибровочного генератора была измерена линейность блока. Отклонение от линейности не превышает 0,3% (Рис.1.9.9). Величина энергетического эквивалента некогерентных шумов составила 300 кэВ, а когерентных шумов – 20 кэВ. Для триггерного канала были проведены измерения формы сигнала (Рис.1.9.8 (б)) результаты, совпадающие с ожиданием) и проверка подстройки коэффициентов преобразования.

Пробная партия из 12 модулей будет изготовлена в начале следующего года. Ведется подготовка стендов для измерения и паспортизации модулей при массовом производстве.

Следующим этапом модернизации в торцевой части калориметра планируется установить кристаллы чистого CsI. В качестве возможного поставщика кристаллов рассматривается Институт сцинтилляционных материалов в Харькове (Рис. 1.9.11). Для партии кристаллов, произведенных в Харькове, были проведены измерения световых выхода и неоднородности. Эти параметры согласуются с измерениями, проведенными для предыдущей партии. Был сделан заказ на опытную партию из 50 кристаллов. В дальнейшем планируется проверить эту партию на радиационную стойкость.

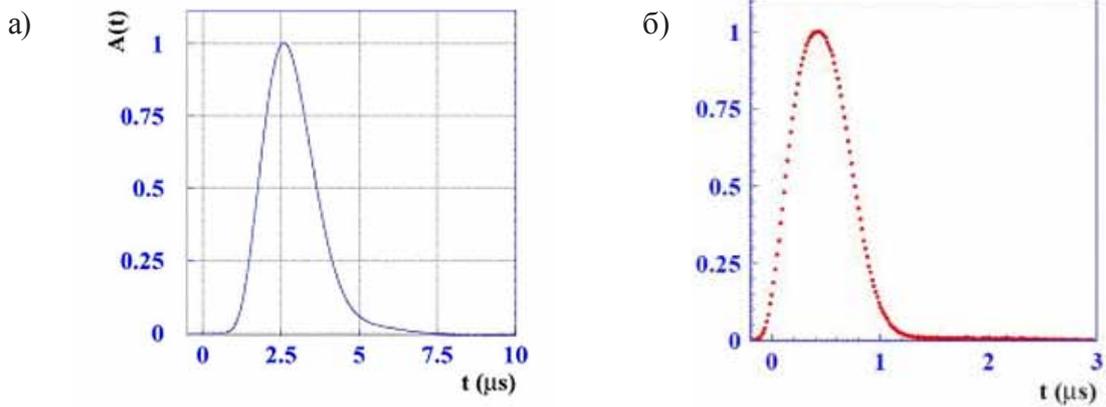


Рис. 1.9.8. (а) Форма сигнала формирователя оцифровщика.
(б) Форма триггерного сигнала.

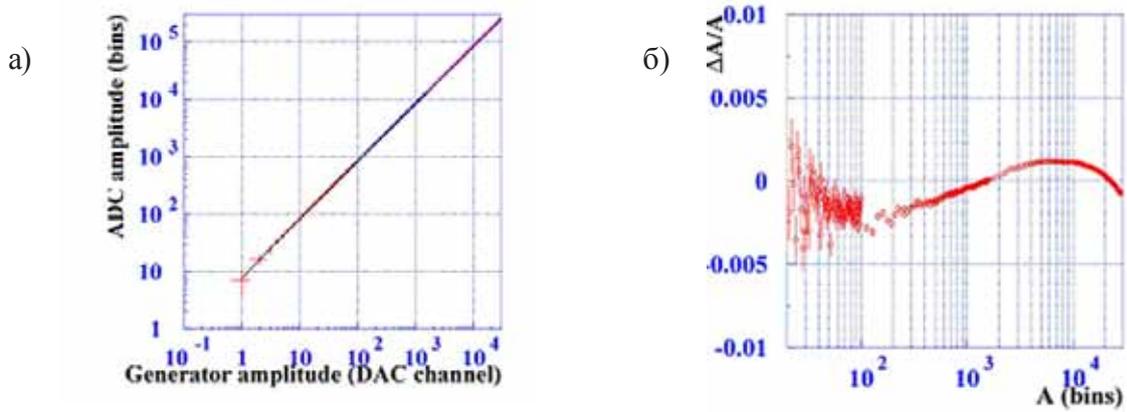


Рис.1.9.9. (а) Отклик модуля формирователя-оцифровщика.
(б) Отличие отклика модуля от линейного.



Рис. 1.9.10. VME крейт.



Рис. 1.9.11. Були чистого CsI, выращенные методом Чохральского в Институте сцинтилляционных материалов.

1.10 Эксперимент BABAR

Эксперименты с детектором BABAR проводились на e^+e^- коллайдере PEP-II в SLAC (США) с 1999 по 2008 год. В настоящее время продолжается обработка накопленных в эксперименте данных. В коллаборацию BABAR входят около 600 физиков, представляющих 72 института из 12 стран, в том числе 11 сотрудников ИЯФ СО РАН. В 2011 году коллаборацией было опубликовано 29 статей, еще около 100 анализов находится в настоящее время в работе.

Основными задачами эксперимента BABAR являются изучение CP -нарушения в распадах B -мезонов, прецизионное измерение распадов B -, D - мезонов и τ -лептонов, поиск их редких распадов. Хотя конструкция детектора и коллайдера были оптимизированы для изучения CP -асимметрии, это практически не уменьшило потенциал эксперимента для изучения других процессов.

Члены коллаборации от ИЯФ участвуют в анализах данных по измерению элемента матрицы СКМ V_{ub} , измерениям сечений e^+e^- аннигиляции в адроны с использованием метода радиационного возврата и изучению двухфотонных процессов с регистрацией рассеянных электронов.

Метод радиационного возврата был разработан сотрудниками ИЯФ СО РАН. Суть метода состоит в регистрации процессов с излучением жесткого фотона начальными частицами, так что остаток энергии уходит на рождение адронов при значительно низких энергиях, вплоть до порога рождения. Это позволяет изучать эксклюзивные процессы e^+e^- аннигиляции в адроны в диапазоне адронных масс от порога до 5-6 ГэВ/ c^2 .

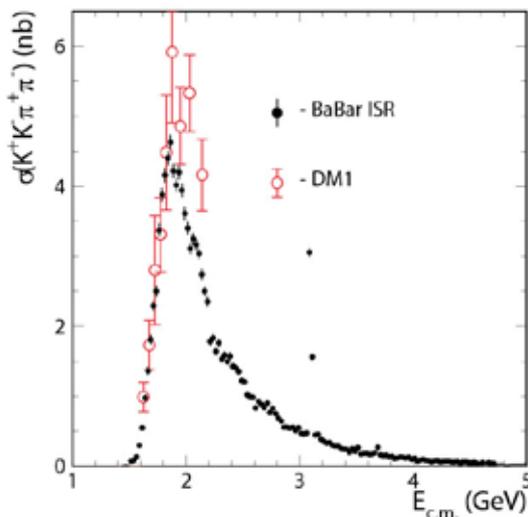


Рис.1.10.1 Сечение $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$ как функция $E_{c.m.}$, измеренное в процессе радиационного возврата на детекторе BABAR (заштрихованные точки). Прямое измерение детектора DM1 показано незаштрихованными точками. Приведены только статистические ошибки.

В 2011 году закончен и опубликован анализ процессов $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$, $K^+K^-\pi^0\pi^0$ с использованием всей набранной в эксперименте BABAR статистики. Полученное сечение (Рис. 1.10.1) в области от порога до $E_{c.m.} = 5$ ГэВ является самым точным измерением на данный момент. Процесс $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0\pi^0$ (Рис.1.10.2) ранее не изучался.

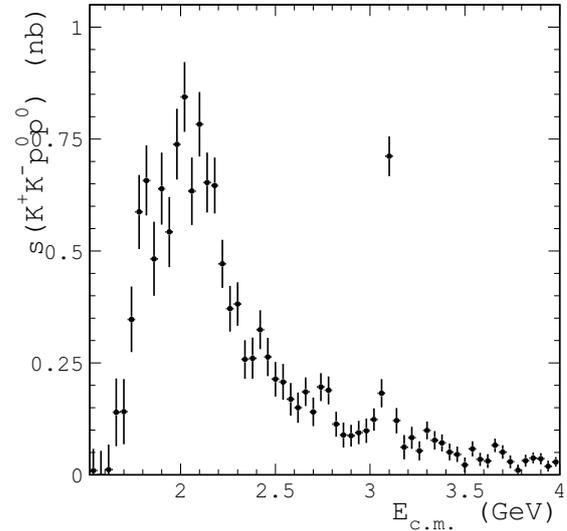


Рис.1.10.2 Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0\pi^0$ как функция $E_{c.m.}$, измеренное в процессе радиационного возврата на детекторе BABAR. Приведены только статистические ошибки.

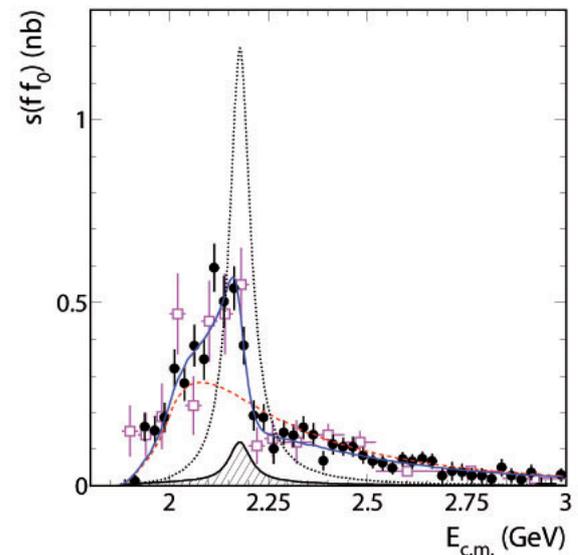


Рис. 1.10.3 Сечение $e^+e^- \rightarrow \phi(1020) f_0(980)$, измеренное в распадах в конечные состояния $K^+K^-\pi^+\pi^-$ (заштрихованные точки) и $K^+K^-\pi^0\pi^0$ (незаштрихованные точки). Непрерывная и штриховая кривые представляют результат подгонки двумя ($\phi(1680)+Y(2175)$) и одним ($\phi(1680)$) резонансом соответственно. Заштрихованная область и пунктирная кривая показывают вклад $Y(2175)$ для двух фаз интерференции.

Обработка всей статистики позволила изучить более детально промежуточные состояния, такие как $K^*(892)K\pi$, $KK\rho(770)$, $K_f(1420)K\pi$, $\phi(1020)\pi\pi$, где пара пионов может быть заряженной или нейтральной.

При изучении реакции $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi\pi$ в событиях, в которых K^+K^- пара формируют резонанс $\phi(1020)$, а $\pi^+\pi^-$ или $\pi^0\pi^0$ происходят из распада $f_0(980)$, был обнаружен неизвестный ранее резонанс с массой 2175 МэВ/c². Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \phi(1020)f_0(980)$ показано на Рис.1.10.3.

Малая ширина резонанса, около 80 МэВ, указывает на экзотичность его происхождения. При этом $Y(2175)$ наблюдается только в случае,

когда $\pi\pi$ -пара образует резонанс $f_0(980)$, который сам является кандидатом в экзотическое четырех-кварковое состояние. Существование резонанса $Y(2175)$ было подтверждено в экспериментах с детектором Belle в Японии и на установке BES в Китае. Общепринятой теоретической интерпретации для этого состояния на данный момент не существует.

В настоящее время физиками ИЯФ СО РАН ведутся работы по измерению с более высокой точностью параметра V_{ub} и по измерению методом радиационного возврата сечений процессов $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$, $e^+e^- \rightarrow K_s^+ K_s^-$, $e^+e^- \rightarrow K_s^+ K_s^-\pi^0$.

1.11 Участие в эксперименте ATLAS на Большом Адронном Коллайдере (ЛHC).

Для экспериментов на Большом Адронном Коллайдере 2011 год стал (пока) самым успешным. «Годовой план» набора интеграла светимости (1 обратный фемтобарн) был выполнен к 17 июня. Всего же за 2011 год было набрано 5 обратных фемтобарн – в 110 раз больше, чем в 2010 году. Основной физической задачей был поиск бозона Хиггса – частицы, взаимодействуя с полем которой, другие частицы приобретают массу. 13 декабря (всего через месяц с небольшим после окончания набора данных) были подготовлены и доложены результаты, основанные на анализе всей набранной статистики. Хиггсовский бозон Стандартной Модели исключен на доверительном уровне 95 % в интервалах масс – 112,9 - 115,5 , 131 - 238 и 251 - 466 ГэВ (см. Рис. 1.12.1). В области инвариантных масс около 126 ГэВ наблюдается превышение числа событий над ожидаемым уровнем фона. Локальная значимость этого превышения для каналов распада хиггсовского бозона в два фотона, четыре лептона и два W бозона составляет соответственно 2,8 , 2,1 и 1,4σ (стандартных отклонений), значимость комбинации каналов равна 3,5 σ. Однако глобальная значимость, то есть вероятность найти такую (или большую) флуктуацию числа фоновых событий при поиске в широком интервале масс бозона Хиггса 110-600 ГэВ оценивается в 1,4 %, что соответствует только 2,2 σ. Таким образом, набранной статистики пока недостаточно, чтобы сделать определенное заключение о том, что наблюдается достоверное превышение сигнала над фоном Стандартной Модели. В 2012 году планируется набрать около 10 обратных фемтобарн.

Всего по результатам анализа данных с детектора ATLAS в 2011 году было опубликовано около 50 работ.

Физики ИЯФ СО РАН участвовали в наборе данных в пультовой управления экспериментом (ATLAS point 1) в рамках системы ка-

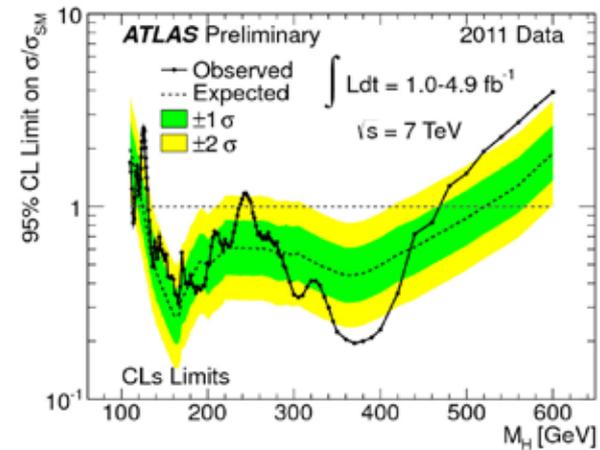


Рис. 1.11.1. Сплошная черная кривая - отношение комбинированного верхнего предела на сечение рождения хиггсовского бозона Стандартной Модели к ожидаемому из Стандартной Модели в зависимости от массы хиггсовского бозона M_H . Пунктирной кривой показан средний ожидаемый (из моделирования) предел при отсутствии сигнала. Зеленая и желтая полосы показывают соответствующие 68% и 95% области для ожидаемого предела.

лориметров на жидком аргоне. Продолжалась работа по контролю и анализу качества данных калориметров и их калибровке. С весны 2009 года в рамках коллаборации с университетами Ирвайна и Питтсбурга ведутся работы по поиску тяжелых майорановских нейтрино в канале с двумя лептонами и двумя струями в конечном состоянии в рамках модели зеркальной симметрии. Эта модель может объяснить наличие ненулевой массы у обычных легких нейтрино (которое следует из наблюдения их осцилляций), а также возникновение асимметрии между материей и антиматерией (барионное число B и лептонное число L могут нарушаться по отдельности, при условии сохранения B-L).

Обработана вся доступная для анализа статистика (34,7 обратных пикобарн), набранная в 2010 году и 2,1 обратных фемтобарн из 5, набранных в 2011 году. Число отобранных событий в данных согласуется с ожидаемым из моделирования вкладом фоновых процессов Стандартной Модели. Данный анализ позволяет исключить широкую область масс правого бозона W_R (до 2,2 - 2,5 ТэВ) и майорановского нейтрино N_1 (до 1,5 ТэВ), см. Рис.1.11.2 – что значительно улучшает предел, установленный на Тэватроне (масса $W_R > 640$ ГэВ). Для дальнейшего существенного продвижения нужно увеличение энергии сталкивающихся протонов в ЛНС с нынешних 3,5 ТэВ до проектных 7 ТэВ (оно планируется в 2014 году).

Также ведется большая работа по развитию компьютерной инфраструктуры и соответствующего программного обеспечения. Данные от эксперимента такого масштаба (несколько петабайт входных данных в год) могут быть сохранены и обработаны только при хорошо скоординированной работе многих мощных вычислительных кластеров по всему миру, использующих передовую технологию распределенных вычислений GRID.

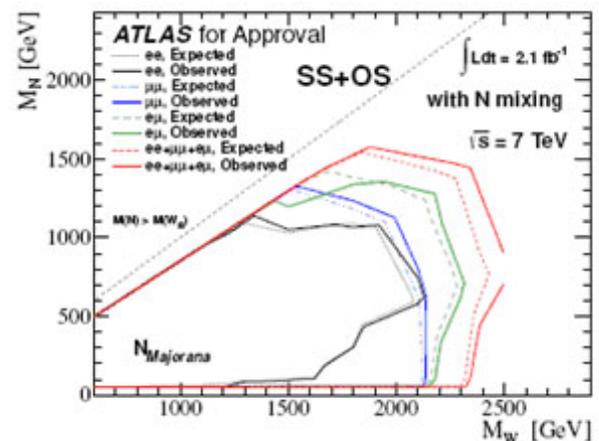
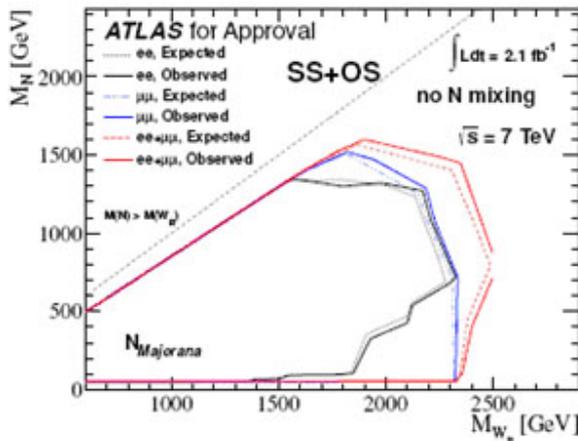


Рис. 1.11.2. Экспериментальные (observed) и ожидаемые из моделирования (expected) верхние пределы на уровне 95 % на массу майорановского нейтрино (M_N) и правого промежуточного бозона (M_{W_R}). Левая диаграмма – смешивание нейтрино отсутствует, правая – для 100 %-ного смешивания мюонного и электронного майорановских нейтрино. Скомбинированы результаты для лептонов одного знака (SS = Same Sign) и разных знаков (OS = Opposite Sign). Обработано 2,1 обратных фемтобарна из 5, набранных в 2011 году.

В настоящее время разрабатывается проект модернизации коллайдера ЛНС с целью повышения светимости на порядок до 10^{35} см²сек⁻¹. В связи с этим также начаты работы по модернизации детектора АТЛАС для работы на такой светимости. Группа ИЯФ СО РАН принимает участие в эксперименте по исследованию работоспособности жидкоаргоновых калориметров АТЛАСа при светимости 10^{35} см²сек⁻¹. Для этих целей были изготовлены мини-модули калориметров (электромагнитного, адронного и переднего), которые помещены в криостаты с

Программисты ИЯФ СО РАН внесли и продолжают вносить весомый вклад в создание и развитие важнейших сервисов и утилит для управления системой распределенных вычислений (ATLAS GRID) – Мониторинга Реплицирования Данных и Информационной Системы.

Повышается производительность GRID кластера ИЯФ СО РАН, модифицируется сетевое оборудование. Развивается сотрудничество с компьютерными центрами НГУ и СО РАН.

Реализован доступ к внешним вычислительным ресурсам на основе технологии виртуализации.

С 2007 году специалисты ИЯФ СО РАН непрерывно принимают участие в деятельности группы системного администрирования системы сбора данных эксперимента, занимающейся эксплуатацией и развитием компьютерного обеспечения триггера высокого уровня, системы формирования и фильтрации событий и других подсистем системы сбора данных. Оборудование включает около 2300 серверов с поддержкой загрузки по сети (в сумме, около 17000 ядер CPU), около 100 вспомогательных управляющих серверов, 50 серверов поддержки пульта детектора АТЛАС, а также многие другие компоненты ИТ инфраструктуры эксперимента.

жидким аргоном. На выведенном пучке протонов с энергией 50 ГэВ ускорителя У-70 в Протвино ведется облучение модулей (интенсивность пучка может изменяться в широких пределах, $10^7 \div 10^{12}$ частиц в секунду). Группа ИЯФ СО РАН полностью отвечает за мини-модуль электромагнитного калориметра, участвует в наборе и анализе данных. По результатам прошедших сеансов опубликована статья в журнале Nucl. Instr. and Methods in Physics Research (NIM).

2

**Электро-
и фотоядерная
физика**

2.1 Эксперименты с внутренними мишенями

1. В 2011 году была проведена подготовка и начат эксперимент по новому измерению R - отношения сечений упругого рассеяния электронов/позитронов на протоне: $R = \sigma_{e+p} / \sigma_{e-p}$.

Известно, что измерение R позволяет определить величину вклада двухфотонного обмена (ДФО) в этом процессе. Возрождение интереса к двухфотонному обмену связано с тем, что информация о ДФО, возможно, объяснит драматическое различие результатов недавних экспериментов по формфакторам протона, выполненных в TJNAF, США с помощью поляризационной методики, с результатами прежних, не поляризационных измерений, в которых формфакторы протона определялись с помощью анализа дифференциальных сечений реакции в предположении справедливости однофотонного приближения.

Учет поправок ДФО, однако, наталкивается на трудности как теоретического плана (пока не существует его корректных расчетов из-за трудностей в учете возбужденных состояний протона в промежуточном состоянии), так и экспериментального плана. Попытки определить вклад ДФО в сечение рассеяния предпринимались в 70-х годах, но при этом была либо плохая статистическая точность измерений, либо углы рассеяния электронов/позитронов были малы (при этом вклад ДФО должен быть очень мал).

В 2009 году в ИЯФ СО РАН на накопителе ВЭПП-3 были проведены измерения R при энергии пучков позитронов/электронов 1,6 ГэВ, в двух областях по углу рассеяния e^+/e^- : 16 - 23 и 56 - 75 градусов. Получен предварительный результат, точность которого значительно превышает точность известных данных.

Отметим, что в TJNAF на детекторе CLAS в феврале 2011 года также проведен подобный эксперимент, сведений о результатах этого эксперимента пока не поступало. Аналогичный эксперимент начат в 2012 году в ускорительном центре DESY на накопительном кольце DORIS, Германия. Для этого там была создана коллаборация OLYMPUS, объединяющая усилия исследователей 14 институтов.

Измерения на ВЭПП-3 в новой кинематической области (при энергии пучков 1 ГэВ и углах рассеяния позитронов/электронов 67 - 105 градусов) было запланировано провести в 2011 году. Ожидаемое значение R в этой области примерно такое же, как и в эксперименте 2009 года, во второй области углов рассеяния (56 - 75 градусов), однако, ожидаемая точность нового измерения будет примерно вдвое выше. На Рис.2.1.1 показаны кинематические диапазоны всех упомянутых экспериментов на плоскости обычно употребляемых параметров - квадрата переданного 4-импульса Q^2 и поляризации виртуального фотона ϵ .

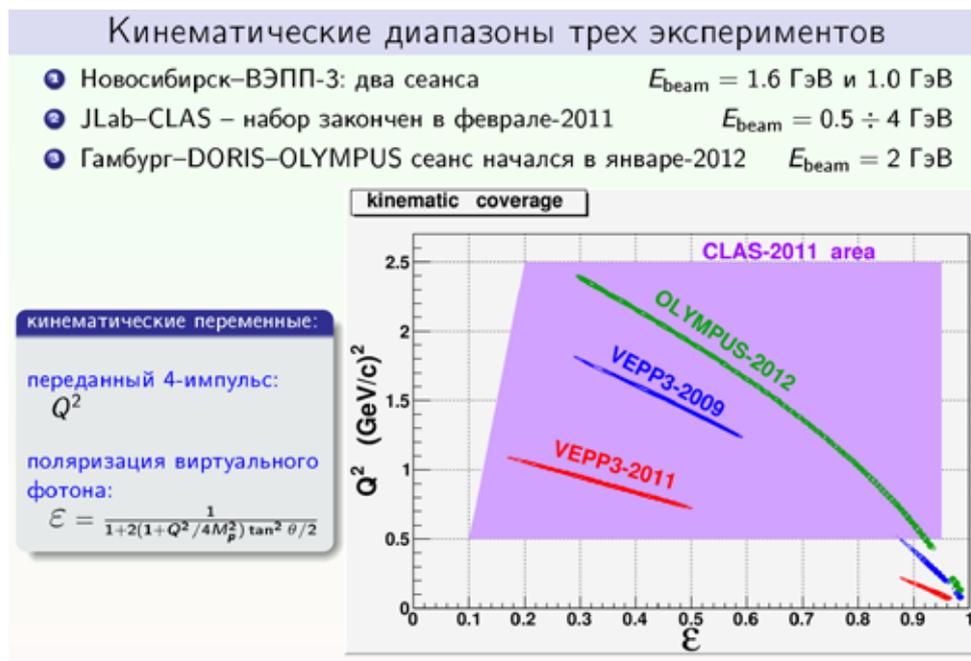


Рис.2.1.1 Кинематические области 3-х экспериментов по измерению отношения сечений упругого рассеяния электронов/позитронов на протоне $R = \sigma_{e+p} / \sigma_{e-p}$.

Для подготовки эксперимента был проведен ряд работ. Разработана программа моделирования процесса упругого и неупругого (с излучением фотона) рассеяния электронов и позитронов пучков ВЭПП-3 на протонах мишени, которая позволила провести аккуратный расчет радиационных поправок, необходимых для анализа результатов эксперимента при выделении вклада двухфотонного обмена. Используются результаты расчетов сечений ep -рассеяния, недавно проведенных теоретиками Института. Проведено моделирование детектора с процессами упругого рассеяния и с процессами с излучением фотона. Моделирование позволило выбрать оптимальную конфигурацию детектора (см. Рис 2.1.2). Системы MA1 и MA2 регистрируют электроны/позитроны, рассеянные на углы около 20 градусов (протоны отдачи при этом попадают в LA1 или LA2 детекторы). События такого сорта используются для мониторинга светимости. Система MA2 снабжена также электромагнитным калориметром для измерения энергии рассеянных электронов/позитронов. Это позволит восстановить полную кинематику событий, в которых упругое рассеяние сопровождается излучением фотона и, если последний попадает в один из калориметров LA1 или LA2 систем, протон отдачи при этом регистрируется детекторами LA2 системы. Такой класс событий позволит проверить предсказания расчетов по радиационным поправкам. Наконец, электроны/позитроны, рассеянные на большие углы и зарегистрированные LA1 и LA2 системами (протоны отдачи при этом попадают в MA1 или MA2 детекторы), дают класс событий для определения вклада ДФО.

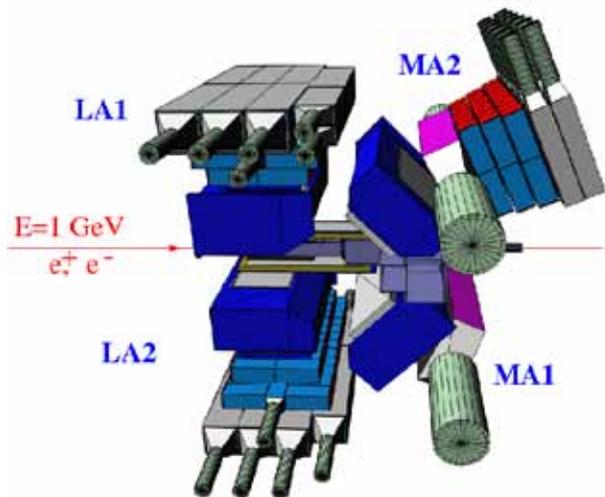


Рис. 2.1.2 Схематическое изображение систем регистрации частиц.

Проведены также следующие работы: модернизация мишени, отладка стабильности работы и длительный прогон мишени, установка дополнительных крионасосов в систему откач-

ки экспериментального промежутка, монтаж калориметров и систем их поддержки. Во время летней остановки комплекса мишень и детектор были установлены на накопителе ВЭПП-3. Затем были проведены работы по проверке и наладке аппаратуры. В это же время с накопителя ВЭПП-4 на ВЭПП-3 была перенесена установка обратного комптоновского рассеяния для измерения энергии пучков электронов/позитронов.

Набор статистики начался в конце сентября с перерывами на плановые остановки и на периоды работ групп СИ. Эффективность набора, измеренная в интеграле тока пучков электронов/позитронов при постоянной толщине мишени, равной примерно 10^{15} at/cm^2 , постепенно возрастала. На 21 января 2012 года суммарный интеграл тока пучков составил 61,2 кС или 367 pb^{-1} (см. Рис. 2.1.3).

На Рис.2.1.4 приведены предварительные результаты текущего эксперимента по указанному интегралу светимости (правая панель) и предыдущего измерения при энергии 1,6 ГэВ (левая панель). В обоих случаях радиационные поправки (учет вклада в R процессов с излучением реальных фотонов) внесены. Показаны также результаты известных измерений R , по возможности близких к нашим по кинематическим параметрам, и теоретические предсказания Blunden et al, Phys. Rev. C72(2005) 0364612. Ожидаемый интеграл светимости эксперимента должен составить 600 pb^{-1} .

II. Продолжались работы по созданию системы мечения квазиреальных фотонов (СМФ) на ВЭПП-3. СМФ существенно расширит возможности для изучения фотореакций на ВЭПП-3, позволит продвинуться до энергии фотонов 1,5 ГэВ. Кроме того, у значительной части фотонов будет определяться их поперечная поляризация, что дает возможность проводить эксперименты с двойной поляризацией. Отметим, что, кроме получения новых данных о дейтроне, можно распространить такие измерения и на нейтрон.

Первый тест СМФ на ВЭПП-3 будет состоять в проводке пучка, проверке приемников СИ, изучения фоновых условий. К настоящему времени смонтирован первый детектор на основе ГЭУ, разработан дизайн электроники к ним.

III. В настоящее время становится общепризнанным, что интенсивность атомарных источников поляризованных частиц ограничена величиной $\sim 10^{17} \text{ at/s}$, что недостаточно для проведения многих экспериментов с поляризованными мишенями. В лаборатории рассматривается вариант получения поляризованного ортоводорода путем пространственного разделения молекулярного водородного пучка за счет взаимодействия ядерных моментов с неоднородным магнитным полем. Для демонстрации возможностей этого метода предполагается использовать существующий источник поляризованных

атомов со сверхпроводящими секступольными магнитами с полем около 4 Т.

Томска, С.-Петербурга, NIKHEF (Нидерланды), ANL (США), IKF JGU (Майнц, Германия).

Эксперименты с внутренними мишенями проводятся в сотрудничестве с группами из

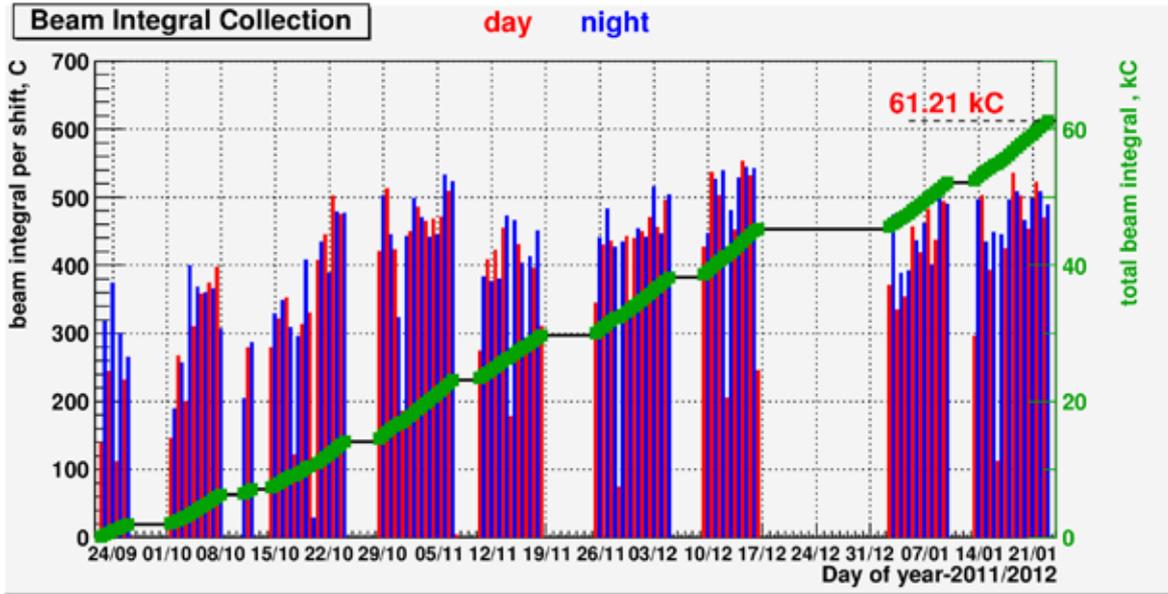


Рис. 2.1.3 Интегралы тока пучков за смену (гистограмма) и суммарный интеграл тока пучков в зависимости от времени.

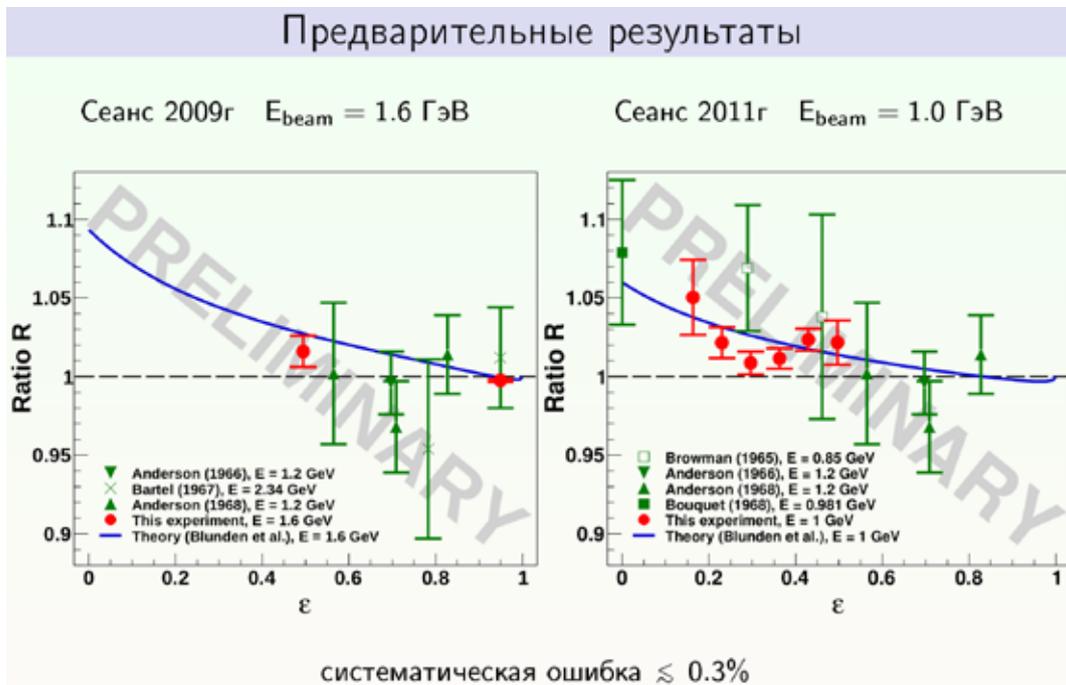


Рис.2.1.4 Предварительные результаты по измерению R в зависимости от ϵ для текущего эксперимента и эксперимента 2009 года, полученные на ВЭПП-3. Приведены также известные мировые данные. Кривые - теоретические предсказания Blunden et al.

3

**Теоретическая
физика**

3.1 Сильное взаимодействие

Интегрирование по частям: Введение

А.Г.Грозин

Int. J. Mod. Phys.A 26 (2011) 2807--2854

Интегрирование по частям используется, чтобы выразить скалярные Фейнмановские интегралы через мастер-интегралы.

Тяжёло-тяжёлая вершинная диаграмма с двумя скоростями в HQET

А.Г.Грозин, А.В.Котиков

arXiv:1106.3912 [hep-ph]

Исследуется однопетлевая тяжёло-тяжёлая вершинная диаграмма в HQET с произвольными степенями всех трёх знаменателей и произвольными остаточными энергиями. Рассмотрены различные частные случаи, в которых результат упрощается.

Одновременное отщепление b и c кварков

А.Г.Грозин, М.Нёсчеле, Ж.Хофф, М.Штайнхаузер

J. High Energy Phys.09 (2011) 066

Мы вычисляем соотношения отщепления для сильной константы связи, масс лёгких кварков, параметра фиксации калибровки и лёгких полей в КХД с тяжёлыми b и c кварками с трёхпетлевой точностью, учитывая точную зависимость от m_c/m_b . Использование низкоэнергетической теоремы позволяет извлечь из константы отщепления для α_s эффективную Хиггс-глюонную константу связи; выражение для неё применимо в обобщениях стандартной модели с дополнительными тяжёлыми кварками.

Метод DRA: Мощный инструмент вычисления петлевых интегралов

Р. Ли

Вклад в труды конференции ACAT2011.

Мы рассматриваем метод DRA вычисления многопетлевых интегралов.

Аналитическое ϵ -разложение мастер-интегралов, соответствующих безмассовым трехпетлевым формфакторам и трехпетлевому аномальному магнитному моменту, до веса трансцендентности, соответствующего четырем петлям

Р. Ли и В. Смирнов

JHEP 1102 (2011) 102 arXiv: 1010.1334

Мы аналитически вычисляем высшие члены ϵ -разложения трехпетлевых мастер-интегралов, соответствующих безмассовым трехпетлевым формфакторам кварка и глюо-

на и трехпетлевому аномальному магнитному моменту, до веса трансцендентности, характерного для вычислений в четырех петлях, то есть, до веса 8 и 7, соответственно. Вычисление основано на комбинации метода, предложенного недавно одним из соавторов (Р.Ли), и других методов: разложения по секторам, реализованного в пакете FIESTA, метода представления Меллина-Барнса и алгоритма PSLQ.

Приложение метода DRA к вычислению четырехпетлевых вакуумных диаграмм КЭД-типа

Р. Ли и И. Терехов

JHEP 1101 (2011) 068 arXiv: 1010.6117

Мы используем метод DRA для вычисления четырехпетлевых вакуумных диаграмм КЭД-типа. Для произвольной размерности пространства-времени результаты имеют вид кратных сходящихся сумм. Мы используем эти результаты для получения ϵ -разложения рассматриваемых интегралов вблизи $D=3$ и $D=4$.

Мастер-интегралы для четырехпетлевых безмассовых пропагаторов до веса трансцендентности 12.

Р. Ли, А. Смирнов, В. Смирнов

Nucl.Phys. B856 (2012) 95-110 arXiv: 1108.0732

Мы вычисляем разложение в ряд Лорана по параметру размерностной регуляризации $\epsilon=(4-d)/2$ всех мастер-интегралов для четырехпетлевых безмассовых пропагаторов до веса трансцендентности 12, используя метод, развитый недавно одним из соавторов (Р.Ли) и, таким образом, обобщаем результаты Байкова и Четыркина, имеющие максимальный вес трансцендентности равный 7. В нашем результате встречаются только кратные ζ -ряды.

О ϵ -разложениях четырехпетлевых непланарных безмассовых диаграмм пропагаторного типа

Р. Ли, А. Смирнов, В. Смирнов

Eur.Phys.J. C71 (2011) 1708 arXiv: 1103.3409

Мы вычисляем три типичные четырехпетлевые непланарные безмассовые диаграммы пропагаторного типа в виде разложения по параметру размерностной регуляризации $\epsilon=(4-d)/2$, до веса трансцендентности 12, используя метод, развитый недавно одним из соавторов (Р.Ли). В нашем результате встречаются только кратные ζ -ряды.

Уравнение БФКЛ для присоединенного представления калибровочной группы в следующем за главным логарифмическим приближении в $N=4$ СЯМ

В.С. Фадин, Л.Н. Липатов
Phys.Lett B 706(2012) 470-476 arXiv:1111.0782

В следующем за главным порядком вычисляются собственные значения ядра БФКЛ для присоединенного представления калибровочной группы $SU(N)$ в $N=4$ суперсимметричной модели Янга-Миллса. Эти собственные значения используются для получения высокоэнергетической асимптотики остаточной функции для б-точечной амплитуды рассеяния с максимальным нарушением спиральности в кинематической области, содержащей вклад мандельштамовских ветвлений. Лидирующие и следующие за ними сингулярности соответствующих аномальных коллинеарных размерностей вычисляются во всех порядках теории возмущений. Полученные результаты согласуются с известным коллинеарным пределом и с недавно предложенным анзацем для остаточной функции в трех петлях, если численные параметры анзаца выбрать надлежащим образом.

Связь между полной и Мёбиусовской формами калибровочно-инвариантных операторов

В.С. Фадин, Р. Фиоре, А.В. Грабовский, А. Папа
Nucl. Phys. B 856 (2012) 111-124 arXiv:1109.6634

Исследуется связь между полным представлением калибровочно-инвариантных операторов и их Мёбиусовским представлением, действующим в ограниченном пространстве функций. Доказана возможность восстановления полного представления по Мёбиусовской форме в координатном пространстве и разработан метод такого восстановления. Операторы перехода от стандартного ядра БФКЛ к квази-конформному ядру найдены как в полном, так и в Мёбиусовском представлении.

Квази-конформный вид ядра БФКЛ и импакт-факторов для рассеяния бесцветных частиц

В.С. Фадин, Р. Фиоре, А.В. Грабовский, А. Папа
AIP Conf. Proc. 1350(2011) 224-227.

Ядро БФКЛ в следующем за главным порядком в Мёбиусовском представлении преобразуется к квази-конформному виду в теориях, содержащих фермионы и скалярные частицы в произвольных представлениях цветовой группы. Обсуждаются соответствующие преобразования импакт-факторов бесцветных частиц.

Проверка условия реджезации глюона в следующем за главным порядком.

Кварковая часть

М.Г. Козлов, А.В. Резниченко, В.С. Фадин
Ядерная Физика, 74(2011) 784-796
Phys. Atom. Nucl, 74(2011) 758-770

Рассматривается условие бутстрапа для рождения глюона в мульти-реджевской кинематике в следующем за главным порядком. Условия бутстрапа вытекают из требования совместности реджевской формы амплитуд КХД с s-канальной унитарностью и представляют собой нелинейные связи между траекторией и вершинами реджезованного глюона. Их выполнение обеспечивает реджезацию глюона, т.е. реджевскую форму как упругих, так и неупругих амплитуд. Рассматриваемое условие является единственным, проверка которого не была проведена до сих пор. Демонстрация его выполнения является заключительным шагом в доказательстве реджезации глюона в следующем за главным логарифмическим приближении. В данной статье эта демонстрация проведена для кварковой части условия бутстрапа.

Импакт-фактор для рождения глюона в мульти-реджевской кинематике в следующем за борновским приближении

М.Г.Козлов, А.В.Резниченко, В.С.Фадин
Препринт Budker INP 2011-23

Найдена однопетлевая поправка к импакт-фактору рождения глюона при переходе одно-реджеонного состояния в t -канале в двух-реджеонное. Этот импакт-фактор является составной частью многочастичных амплитуд в мульти-реджевской кинематике. Рассматриваемая поправка необходима для развития теории реджевских и мульти-реджевских процессов. В частности, она необходима для доказательства мультиреджевской формы амплитуды в следующем за главным логарифмическим приближении. Она позволяет завершить проверку последнего из недоказанных условий бутстрапа для реджезации глюона и доказать в этом приближении справедливость мультиреджевской формы амплитуды. В статье представлены все необходимые вычисления и дано явное выражение для импакт-фактора при всех возможных цветовых состояниях в t -канале.

Проверка условия реджезации глюона в следующем за главным порядком.

Глюонная часть

М.Г.Козлов, А.В.Резниченко, В.С.Фадин
Препринт Budker INP 2011-24

Рассматривается последнее условие бутстрапа, выполнение которого не проверено до

настоящего времени. Это условие является необходимым элементом доказательства мульти-реджевской формы амплитуд КХД с глюонным обменом при высоких энергиях в следующем за главным логарифмическим приближении. Доказательство основано на s -канальной унитарности и позволяет воспроизводить последовательно во всех порядках теории возмущений мульти-реджевскую форму амплитуды, если только выполнены определенные нелинейные соотношения между реджевскими вершинами и реджевской траекторией глюона, называемые условиями бутстрапа. Все эти условия получены, и выполнение всех их, кроме одного, доказано. В данной работе проводится явная проверка последнего условия - условия бутстрапа для неупругой амплитуды рождения одного глюона в мультиреджевской кинематике. В предыдущей работе такая проверка была проведена для фермионных вкладов; здесь рассматриваются глюонные вклады и завершается доказательство выполнения последнего условия бутстрапа.

Спиновая структура тяжелых кварков в Z_b резонансах

А. Е. Бондарь, А.Ю. Гармаш, А. И. Мильштейн, Р. Мизук, М.Б.Волошин
Phys. Rev. D 84, 054010 (2011).

Мы обсуждаем спиновую структуру тяжелых кварков в недавно открытых "двойных" резонансах $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$, предполагая, что эти резонансы имеют в основном "молекулярную" природу, то есть, что их внутренняя динамика определяется связью мезонных пар $B^*\bar{B}$ и $B\bar{B}^*$. Мы нашли, что состояние $b\bar{b}$ пары внутри $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$ резонансов есть смесь спинового триплета и спинового синглет-

та с равной амплитудой и с противоположным знаком для разных резонансов. Такая структура приводит к специфическим соотношениям между наблюдаемыми амплитудами, которые согласуются с экспериментальными данными, полученными недавно в коллаборации Belle. Мы также кратко обсуждаем свойства изотопически синглетных партнеров недавно открытых резонансов, которые могут существовать в той же энергетической области вблизи порога открытого B флэйвера.

Нуклонная поляризация в процессе $e^+e^- \rightarrow N\bar{N}$ около порога

А. Е. Бондарь, В.Ф.Дмитриев, А. И. Мильштейн, В.М. Страховенко
Physics Letters B 697, 159 (2011).

Процесс $e^+e^- \rightarrow N\bar{N}$ изучен вблизи порога реакции с учетом поляризации всех начальных и конечных частиц. Поляризация нуклона ζ^N сильно зависит от энергии благодаря сильной зависимости от энергии нуклонных электромагнитных формфакторов $G_E(Q^2)$ и $G_M(Q^2)$, которая возникает из-за взаимодействия нуклонов в конечном состоянии. Показано, что модуль отношения формфакторов и их относительная фаза могут быть определены с помощью измерения ζ^N одновременно с дифференциальным сечением процесса. Степень поляризации анализируется с использованием Парижского $N\bar{N}$ оптического потенциала для вычисления формфакторов. Оказалось, что $|\zeta^N|$ достаточно велика в широкой области энергий выше порога. Будучи особенно большой для продольно поляризованных пучков, $|\zeta^N|$ достаточно велика даже когда оба пучка e^+e^- являются неполяризованными.

3.2 CP несохранение

Можно ли наблюдать нарушение CP-инвариантности в столкновениях тяжёлых ионов?

А.С. Руденко, И.Б. Хриплович
Can. J. of Physics 89, 63-64 (2011)

Мы демонстрируем, что, по крайней мере в настоящее время, нет надёжного способа обнаружить CP-нарушение в столкновениях тяжелых ионов.

Распады $K^0_{13\gamma}$: относительные ширины и T -нечётные импульсные корреляции

А.С. Руденко
Phys.Rev. D 84, 016001 (2011)

Для распадов $K^0 \rightarrow \pi l^+ \nu_l \gamma$ ($l = e, \mu$) вычисле-

ны относительные ширины, а также T -нечётные тройные импульсные корреляции

$$\xi = \bar{q}[\vec{p}_l \times \vec{p}_\pi] / M_K^3,$$

обусловленные электромагнитным взаимодействием в конечном состоянии. Вклады порядка ω^{-1} и ω^0 в соответствующие амплитуды учтены точно. Для распада $K^0 \rightarrow \pi e^+ \nu_e \gamma$ показано, что поправки порядка ω малы. Результаты для относительных ширин находятся в хорошем согласии с предыдущими. T -нечётные тройные импульсные корреляции в распадах $K^0_{13\gamma}$ вычислены впервые. Величина ξ -нечётной асимметрии составляет порядка 10^{-3} и 10^{-2} в распадах $K^0 \rightarrow \pi \mu^+ \nu_\mu \gamma$ и $K^0 \rightarrow \pi e^+ \nu_e \gamma$, соответственно.

Снова к распаду $K^+_{l3\gamma}$: относительная ширина и T -нечётные импульсные корреляции

А.С. Руденко, И.Б. Хриплович

Ядерная физика т.74, №8, с. 1243-1251 (2011)

Для распадов $K^+ \rightarrow \pi^+ l^+ \nu_l \gamma$ ($l = e, \mu$) вычислены относительные ширины, а также T -нечётные тройные импульсные корреляции

$$\xi = \bar{q} [\vec{p}_l \times \vec{p}_\pi] / M_K^3,$$

3.3 Квантовая электродинамика**Кулоновские эффекты в зависящем от спина вкладе в скорость потерь за счет внутреннего рассеяния в пучке**

В.М. Страховенко

Phys.Rev. ST. Accel. Beams, 14(2011)012803

Рассматривается внутреннее рассеяние электронов в пучке, движущемся в накопителе. В сечении рассеяния впервые учтены кулоновские эффекты. Это позволило правильно описывать зависящий от поляризации вклад в скорость выхода частиц из поляризованного пучка при любых значениях параметра $\delta\epsilon/\epsilon$, характеризующего относительное изменение энергии электрона в лабораторной системе при рассеянии.

Получение поляризованных позитронов в аморфных мишенях

В. Страховенко

Приглашенный доклад на рабочем совещании "Posipol 2011",

ИФВЭ, Пекин, Китай, август 28-30, 2011

Рассматриваются процессы деполяризации при получении поляризованных позитронов в аморфных мишенях, когда электромагнитный ливень инициируется циркулярно поляризованным фотоном. Оказывается, что деполяризация в основном происходит при тормозном излучении рожденных позитронов, тогда как при их упругом рассеянии и комптоновском рассеянии начальных фотонов ею можно пренебречь.

Рождение пары фотоном в постоянном и однородном электромагнитном поле

В.М. Катков

Nuovo Cimento C, 34, No. 4 (2011) 1-7.

Исследуется рождение пары заряженных частиц неполяризованным фотоном в постоянном и однородном электромагнитном поле произвольной конфигурации. В области высоких

обусловленные электромагнитным взаимодействием в конечном состоянии. Вклады порядка ω^{-1} и ω^0 в соответствующие амплитуды учтены точно. Для относительной ширины оценены поправки порядка ω и показано, что они малы. Полученные результаты сравниваются с результатами других авторов. В некоторых случаях отличие оказывается весьма значительным.

энергий вычислены поправки к стандартному квазиклассическому приближению (СКП). В области промежуточных энергий фотона, где СКП неприменимо, используется новое приближение. Рассмотрено влияние слабого электрического поля на процесс в магнитном поле. В частности, в присутствии такого поля исчезает корневая расходимость в вероятности рождения пары на уровнях Ландау. Для меньших энергий фотона развито низкоэнергетическое приближение. При низких энергиях фотона действие электрического поля является определяющим, а влияние магнитного поля связано с его взаимодействием с магнитным моментом частиц рождающейся пары.

Рождение пары поляризованным фотоном в постоянном и однородном электромагнитном поле

В.М. Катков

Тезисы доклада на IX международном симпозиуме "RREPS-11".

Сентябрь 12-16, (2011) Egham, Великобритания.

Вероятность рождения пары поляризованным фотоном в постоянном и однородном электромагнитном поле произвольной конфигурации вычисляется с использованием мнимой части диагонализированного поляризационного оператора. Разделение по областям энергии фотона и основные характеристики процесса такие же, как для неполяризованных фотонов. Обсуждаются характерные особенности, связанные с поляризационными состояниями фотона.

Индукцированный ток в присутствии магнитной трубки малого радиуса

А. И. Мильштейн, И.С. Терехов

Phys. Rev. B 83, 075420 (2011).

Рассмотрена плотность индуцированного тока, соответствующая безмассовому уравнению Дирака в (2+1) измерениях при наличии магнитной трубки малого диаметра. Эта проблема важна для графена. В случае, когда

электрон не может проникать в область магнитного поля (эффект Бом-Ааронова), индуцированный ток является нечетной периодической функцией магнитного потока. Если область внутри магнитной трубки не является запрещенной для электрона, индуцированный ток не является периодической функцией магнитного потока. Однако, в пределе нулевого радиуса магнитной трубки индуцированный ток является универсальной функцией потока, не зависящей от распределения магнитного поля внутри магнитной трубки

Релятивистская кулоновская функция Грина в d измерениях

Р. Н. Ли, А. И. Мильштейн, И.С. Терехов
ЖЭТФ 140, 236 (2011) JETP 113, 202 (2011)

Используя операторный метод, функции Грина уравнений Дирака и Клейна-Гордона в кулоновском потенциале $-Z\alpha/r$ найдены точно по полю в пространстве произвольной размерности. Детально изучены нерелятивистские и

квазиклассические асимптотики этой функции Грина.

Эффективные теории поля для спиноволновых возбуждений в спиральных магнитных структурах

А. И. Мильштейн, О.П. Сушков
Phys. Rev B 84, 195138 (2011).

Рассмотрены два класса магнитных структур. В первом классе структура близка к ферромагнетику, а во втором классе к антиферромагнетику. Мы построили эффективную теорию поля для этих случаев и сосчитали соответствующие спектры возбуждений. Мы показали, что дисперсия, имеющая форму "песочных часов" и наблюдаемая экспериментально в купратах, является следствием антиферромагнитной спиральной структуры. Кроме того, показано, что квантовые флуктуации важны для образования ферромагнитной спиновой спирали, так как они влияют на спино-волновую дисперсию.

3.4 Гравитация

Интеграл по путям на экстремальных конфигурациях полей

В. М. Хацимовский
Intl. J. Mod. Phys. A, Vol. 26, No. 1,
pp. 135-148 (2011)

Каноническая мера в гамильтоновом интеграле по путям удовлетворяет определённым правилам, которые связывают меру на путях на всей оси времени с мерами на путях на областях, на которые может быть разбита ось времени. Мы доказываем, что это правило "склейки" можно воспроизвести без обращения к гамильтонову формализму, путём подстановки в действие полей с произвольно быстрым изменением на границах этих областей и изучения интеграла по путям в смысле обобщённой функции. Теперь координата, области изменения которой склеиваются, не обязательно должна быть временем. Рассматривается кусочно-плоская (симплициальная) гравитационная минисуперпейс-система. Изучено произвольно быстрое изменение поперечных компонент метрики между двумя 4-симплексами с общей 3-мерной гранью. То есть, мы обобщаем кусочно-плоский анзац, разрешая поперечным компонентам метрики быть функцией расстояния от 3-мерной грани в окрестности этой грани. Найдено правило склейки мер в интеграле по путям на отдельных 4-симплексах. Полученное выражение покрывает множество мер, в том числе и используемые обычно в численных расчетах, и позволяет определить меру в некоторых приложениях.

Придание смысла некоторым интегралам в исчислении Редже

В. М. Хацимовский
J. Math. Phys., Vol. 52, No. 022502,
pp. 1-14 (2011)

Действие Редже в представлении связностей имеет вид, в котором каждый член линейен по некоторой полевой переменной (переменная типа площади со знаком). Интересен результат интегрирования в интеграле по путям по связностям как функция площадей. Чтобы найти эту функцию (или распределение), мы вычисляем её моменты, то есть интегралы со степенями тензоров площадей. Вычисление проходит через промежуточное возникновение дельта-функций, интегрирование их даёт конечный результат, с точностью до сингулярной части с носителем в физически недостижимой области. Поэтому в физической области эта функция должна экспоненциально убывать при больших площадях, что и происходит, если её восстанавливать из моментов. Это даёт для гравитации способ определения такого не абсолютно сходящегося интеграла, каковым является функциональный интеграл.

Гравитационное действие на быстро меняющихся метриках

В. М. Хацимовский
Gen. Rel. Grav., Vol. 43, No. 11,
pp. 3127-3138 (2011)

Рассмотрен 4-мерный симплицальный комплекс и общая теория относительности, определенная на минисуперпространстве с метрикой, плоской в каждом симплексе почти везде за исключением слоя с произвольно малой толщиной вдоль каждой 3-мерной грани. При стремлении этой толщины к нулю метрика, вообще говоря, становится разрывной на этой грани. Поскольку разрыв индуцированной на грани метрики запрещен в общей теории отно-

сительности, появляются слагаемые в действии Эйнштейна, стремящиеся к бесконечности при стремлении толщины к нулю. В функциональном интеграле эти слагаемые приводят к дельта-функциональному предэкспоненциальному фактору, требующему обнуления разрывов индуцированной на 3-гранях метрики. Оставшаяся конечная часть действия представляет собой сумму независимых членов по 4-симплексам, и ей соответствует фактор в функциональном интеграле, представляющий собой произведение независимых факторов по 4-симплексам. Полученный результат находится в согласии с предыдущим нашим результатом, полученным из соображений симметрии.

3.5 Астрофизика

Влияние изменения массы кварков на первичный нуклеосинтез.

В.Ф.Дмитриев, Дж. Беренгут, В.В. Фламбаум
Конференция: Ядерная физика
в астрофизике V, 3-8 апреля 2011,
Эйлат, Израиль.

Мы вычисляем эффект изменения массы легких кварков, m_q , на стандартный первичный нуклеосинтез. Изменение m_q в эру первичного нуклеосинтеза влияет на скорости ядерных реакций и, следовательно, на первичные распространности через изменение энергий связи легких ядер. Было найдено, что относительное изменение $\Delta m_q / m_q = 0,016 \pm 0,005$ обеспечивает

лучшее согласие между наблюдаемыми первичными распространностями и предсказанными теорией. В основном, это происходит за счет уменьшения существующего расхождения для ${}^7\text{Li}$. Однако, этот подход игнорирует возможное изменение положения резонансов в ядерных реакциях. Предсказываемая для ${}^7\text{Li}$ распространность сильно зависит от сечения резонансных реакций ${}^3\text{He}(d, p){}^4\text{He}$ и $t(d, n){}^4\text{He}$. Мы показываем, что изменение m_q во время первичного нуклеосинтеза может сдвинуть положения этих резонансов от Гамовского окна, что ведет к увеличению производства ${}^7\text{Li}$, усиливая тем самым литиевую проблему.

3.6 Нелинейная динамика и хаос, квантовые диссипативные системы

Квантовый вакуум в сильно нелинейных решетках

О.В. Жиров, А.С.Пиковский, Д.Л. Шепелянский
Phys.Rev. E 83, 016202 (2011)

Подробно исследованы свойства классических и квантовых сильно нелинейных цепочек методами детального численного моделирования. Из-за сильной нелинейности классическая динамика таких цепочек остается хаотической при сколь угодно малых энергиях возбуждения. Показано, что коллективные возбуждения классических цепочек описываются звуковыми волнами с коэффициентом затухания, степенным образом зависящим от волнового вектора и с показателем степени, принимающим универсальное значение. Свойства квантовых цепочек изучались с помощью квантового метода Монте Карло. Обнаружено, что низкоэнергетические возбуждения описываются эффективными фо-

нонными модами, скорость звука в которых существенно зависит от эффективной постоянной Планка. Из наших результатов следует, что при низких энергиях квантовые эффекты приводят к подавлению хаоса и установлению квазиинтегрируемого режима эффективных фононных мод.

Кристалл Вигнера в змеевидных каналах

О.В. Жиров, Д.Л. Шепелянский
e-print: arXiv:1102.1277v1 [cond-mat.mes-hall]
(2011);Eur. Phys. J. B 82, 63–67 (2011).

Изучены свойства электронного кристалла Вигнера в извилистых наноканалах. Предсказано наличие проводящей фазы при малых электронных плотностях и переход в фазу изолятора при плотностях выше критической. Переход между этими фазами формирует "дьявольскую лесенку" в структуре решетки, типичную для

перехода Обри в динамических отображениях и в модели Френкеля-Конторовой. Обсуждается возможность проявления этого эффекта в зарядовых волнах в квазиодномерных органических проводниках, а также в суперконденсаторах, возникающих в нанопористых материалах.

Конференция ECRYS-2011

Кристалл Вигнера в змеевидных каналах: обзор результатов.

О.В. Жиров, Д.Л. Шепелянский
e-print: arXiv:1110.1812v1 [cond-mat.str-el] (2011);
Proceedings of ECRYS-2011, August 15-27,
Cargese, France

Изучена динамика электронного кристалла Вигнера в змеевидном наноканале. Показано наличие проводящей фазы (фазы скольжения) при низких плотностях электронного заряда, и фазы изолятора (явление запираания), возникающего при определенных критических плотностях. Проведена параллель между данной модельной задачей и предположением Литтла о механизме электронного транспорта в органических молекулах. Также показано, что при наличии периодического потенциала внутри извилистого наноканала, фаза скольжения возникает лишь внутри определенных интервалов электронной плотности, что напоминает поведение проводимости в зависимости от приложенного давления в органических проводниках. Наши исследования демонстрируют возможность динамического возникновения неупорядоченной стеклоподобной фазы в чисто периодическом потенциале в отсутствие внешнего беспорядка. В завершение обсуждается возможность применения концепции КАМ для объяснения сверхпроводимости порождаемой отталкивающим кулоновским взаимодействием электронов. В рамках этой картины переход от фазы скольжения (КАМ) к запертой фазе Обри отвечает переходу сверхпроводник-изолятор.

Классический и квантовый динамический хаос: чувствительность к внешним возмущениям, стабильность и обратимость

В.В. Соколов, О.В. Жиров, Я.А. Харьков
In Chaos Theory, «Topics on Chaotic Systems; Selected Papers from CHAOS2010 International Conference'», World Scientific, pp. 59-76, (2011)

Чрезвычайная сложность траекторий классических нелинейных систем в режиме динамического хаоса тесно связана с их экспоненциальной чувствительностью как к малым вариациям начальных условий, так и слабым внешним возмущениям. Строго говоря, такие системы обладают положительной алгоритмической сложностью, характеризующейся положительным показателем Ляпунова или, альтернативно, энтропией Колмогорова - Синяя. Сказанное озна-

чает, что, не смотря на то, что, формально, любая траектория замкнутой системы такого типа является единственной и даже дифференцируемой для любых заданных начальных условий и движение по ней является полностью обратимым, само рассмотрение подобных систем как замкнутых лишено практического смысла. Действительно, любое внешнее воздействие, как бы ни было оно слабо, кардинально влияет на их динамику. Даже очень слабый внешний шум быстро стирает память о начальном состоянии и движение превращается в необратимый случайный процесс.

Напротив, квантовая динамика систем, хаотических при классическом рассмотрении, проявляет гораздо более слабую чувствительность к внешним воздействиям и намного лучше сохраняет память о начальном состоянии. Качественно, эта принципиальная разница свидетельствует о гораздо более простой структуре квантовых состояний по сравнению с практически случайными и непредсказуемыми классическими траекториями. На самом деле, само понятие траектории движения отсутствует в квантовой теории, так что классическая концепция экспоненциальной неустойчивости перестает быть адекватной. Цель настоящей статьи - состоит в том, чтобы установить удобную с практической точки зрения количественную меру, характеризующую сложность квантового состояния в любой заданный момент времени. Используя такую меру мы оказываемся в состоянии произвести сравнительный количественный анализ степени стабильности и обратимости квантовой и классической динамики по отношению к произвольному внешнему шуму.

Для решения указанной проблемы мы отмечаем прежде всего, что сами по себе отдельные классические траектории не представляют в режиме классического динамического хаоса специального интереса. Все они обладают одинаковыми свойствами так что интерес представляет поведение достаточно представительного множества таких траекторий. Поэтому адекватным является лиувиллев подход, основанный на изучении эволюции распределения в фазовом пространстве. Чрезвычайно важно, что, в отличие от классических траекторий, классическая функция распределения, так же как и уравнение Лиувилля имеют прямые квантовые аналоги. Поэтому сходство и различия в характере классической и квантовой динамик могут быть непосредственно обнаружены путем сравнения эволюции классической ($W^{(c)}(I, \theta; t)$) и квантовой (функция Вигнера $W(I, \theta; t)$) распределений, рассматриваемых как функции одних и тех же переменных, но удовлетворяющих разным линейным дифференциальным уравнениям.

Фундаментальным свойством свойством классической хаотической динамики является экспоненциально быстрое структурирование

функции распределения на все более и более мелких масштабах фазового пространства. Напротив, степень структурирования соответствующей функции Вигнера ограничено квантованием фазового пространства. Это делает функцию Вигнера гораздо более «грубой» и «простой» нежели ее классический аналог. Отсюда непосредственно следует, что Фурье-анализ предоставляет удобный и естественный инструмент оценки степени сложности фазовых распределений, одинаково справедливый как в классическом, так и в квантовом случае.

Мы показываем, что типичное число Фурье гармоник соответствующих распределений в произвольно заданный момент времени представляет собой искомую меру чувствительности системы к внешнему воздействию, что позволяет указать степень обратимости движения системы, подверженной влиянию внешнего шума. В то время как характерное число гармоник функции распределения неинтегрируемой классической системы растет экспоненциально в течение любого времени движения, время экспоненциального роста соответствующей квантовой функции Вигнера ограничено интервалом Эренфеста $0 < t < t_E$, в течение которого, эта функция удовлетворяет классическому уравнению Лиувилля. Мы показываем, что после этого времени число гармоник увеличивается уже только по степенному закону. Это обстоятельство становится решающим, если время Эренфеста оказывается настолько коротким, что экспоненциальный режим не успевает как следует проявиться. При таком условии квантовое движение в течение долгого времени остается достаточно устойчивым и обратимым. Количественно, степень обратимости квантового движения, подверженного влиянию внешнего шума определяется «чистотой» (Purity) квантового состояния в момент обращения движения.

Динамический квантовый хаос и подавление квантовой когерентности

В.В. Соколов

Электронный архив 3-го рабочего совещания
«Атомные ядра и мезоскопическая физика»
WNMP11, pp. 1-35, East Lansing, (2011)

В свете общей проблемы принципа соответствия обсуждается, в приложении к системам, чья динамика является в классическом пределе хаотической, механизмы подавления квантовой интерференции. Не смотря на то, что быстрое угасание фазовых корреляций является определяющим свойством явления классического динамического хаоса, так называемый «квантовый хаос» не может сам по себе разрушить квантовую когерентность. Необходимым условием подавления когерентных эффектов является образование на каком-то этапе эволюции некогерентных смешанных состояний. Поэтому влияние неупорядоченного окружения имеет принципиальное значение. В статье приводится ряд примеров разрушения квантовой когерентности, используя в качестве индикатора этого эффекта эволюцию таких характеристик движения, как fidelity Переса, информационную энтропию Шеннона и корреляционную энтропию фон Неймана в случаях как чистого, так и смешанного начального состояния. Приводится оценка времени полного разрушения квантовой когерентности. Обсуждается связь рассматриваемой проблемы с вопросами стабильности и обратимости квантовой динамики. Наконец, исследуются эффекты разрушения когерентности и диссипации энергии в явлениях квантового транспорта через мезоскопические структуры, погруженные в слабо-неупорядоченную среду.

4
Физика плазмы
и
управляемый
термоядерный синтез

4.1 Исследования на установке ГДЛ

За отчетный 2011 год на установке ГДЛ («Газодинамическая ловушка») были проведены два цикла экспериментальных исследований, в ходе которых получены существенные научные результаты. Первый цикл экспериментов был направлен на улучшение продольного удержания плазмы в газодинамической ловушке при использовании двух амбиполярных ячеек на краях установки. В ходе второго цикла исследований впервые на установке ГДЛ был опробован нагрев электронным пучком. Кроме указанных экспериментальных исследований в 2011 году на установке ГДЛ велись подготовительные работы по вводу в действие системы высокочастотного (СВЧ) нагрева плазмы на частотах электронного циклотронного резонанса (ЭЦР). Ниже в подразделах отчета приведены описания этих работ в виде трех относительно независимых разделов.

4.1.1 Влияние амбиполярных электрических полей на продольные потери плазмы в газодинамической ловушке.

В данном разделе описываются результаты экспериментов по созданию эффективных амбиполярных барьеров для подавления продольных потерь из установки Газодинамическая ловушка. Целью выполнения данной работы было экспериментальное исследование влияния амбиполярных электрических полей, создаваемых в дополнительных концевых пробкотронах («амбиполярных пробках»), на продольное удержание плазмы в газодинамической ловушке (ГДЛ). Эти исследования являются логичным продолжением цикла работ, проведенных в Институте на установке ГДЛ в 2008-2009 го-

дах, когда использовалась одна амбиполярная ячейка. Тогда с помощью одной такой ячейки, установленной с одной стороны установки ГДЛ, удалось подавить продольный поток плазмы из центральной части ловушки примерно в пять раз.

Для проведения соответствующих экспериментов к каждой стороне установки ГДЛ была присоединена дополнительная ячейка – компактный пробкотрон (КП). Два КП (восточный КП-В и западный КП-З) с независимыми источниками питания магнитных катушек были использованы в описываемых экспериментах в качестве «амбиполярных пробок» с обеих сторон установки ГДЛ. На рисунке 4.1.1 представлена схема эксперимента с двумя амбиполярными ячейками на установке ГДЛ. Фотография установки ГДЛ с двумя присоединенными КП представлено на рисунке 4.1.2.

Для модернизации системы питания магнитного поля установки ГДЛ были выполнены работы по вводу в строй конденсаторной батареи, расположенной в специализированном технологическом зале. В конденсаторном отсеке на стеллажах были смонтированы 1000 конденсаторов ИК-6-150 (6 кВ, 150 мкФ) секциями по 100 штук. Таким образом, был введен в действие дополнительный блок с емкостными накопителями до 6 кВ общей емкостью 150 миллифард, разделенный на два независимых модуля по 500 конденсаторов (75 мФ) со своей системой зарядки. Это позволяет независимо создавать магнитные поля в двух компактных пробкотронах (западном и восточном). Система зарядки позволяет заряжать батареи до 6 кВ, но для повышения надежности и ресурса конденсаторов не рекомендуется превышать напряжение выше 5,5 кВ.

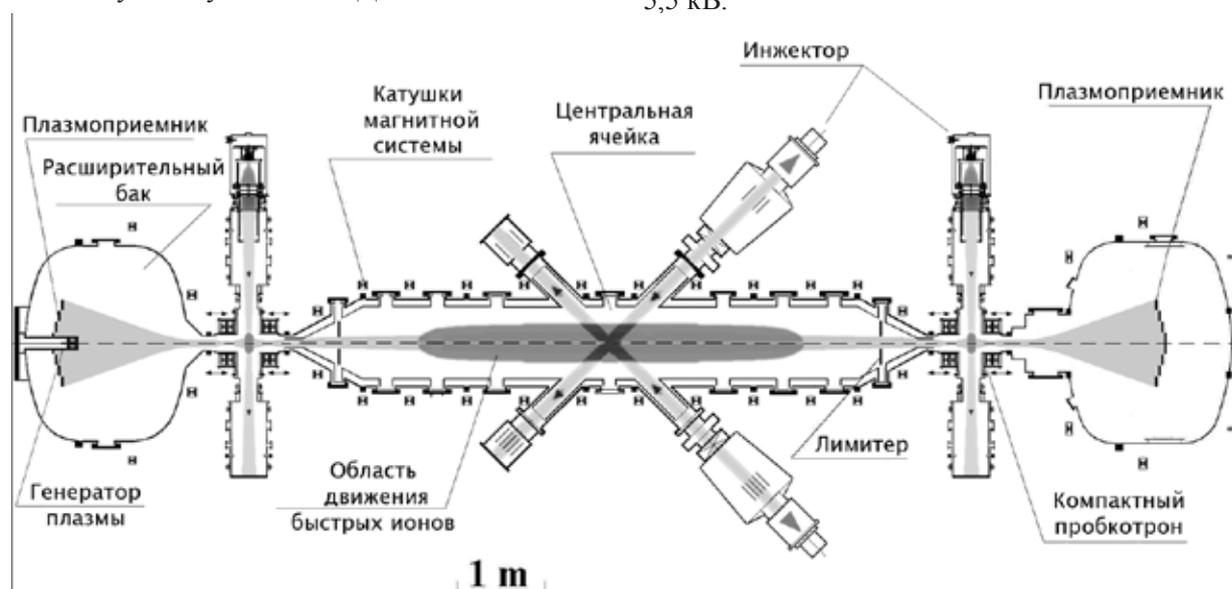


Рис. 4.1.1. Схема эксперимента с двумя компактными пробкотронами на установке ГДЛ.

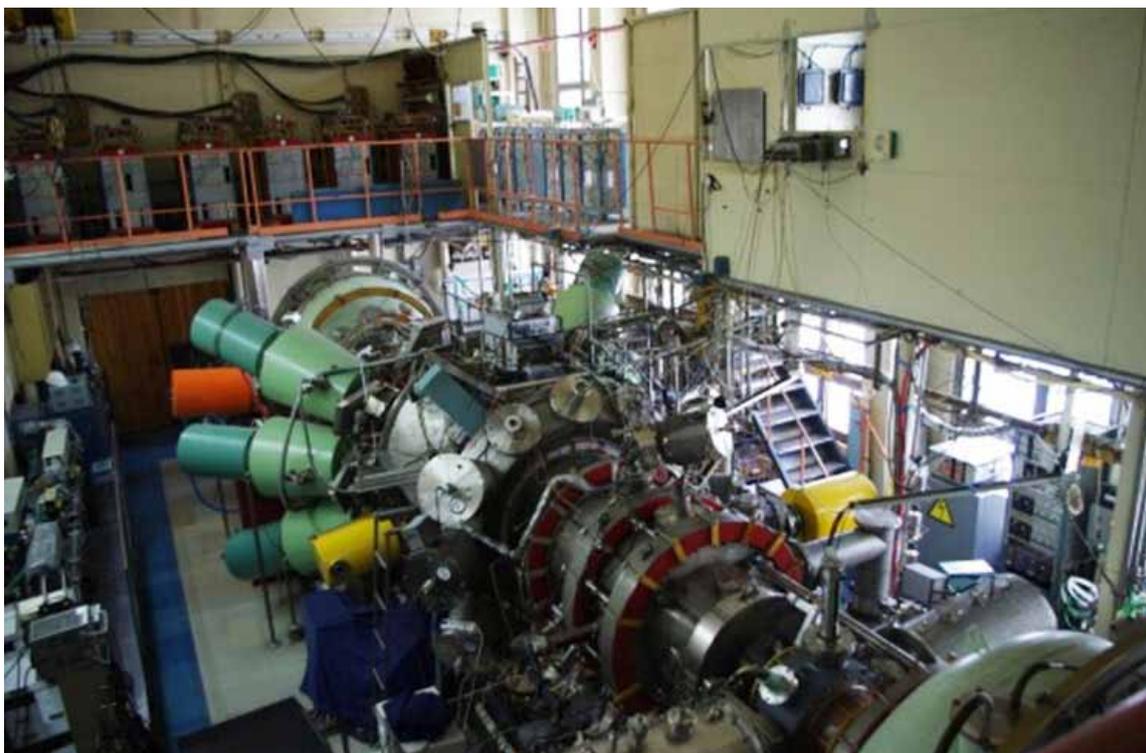


Рис. 4.1.2. Вид установки ГДЛ с двумя компактными пробкотронами.

Конструкция обоих КП позволяла перпендикулярно оси системы инжектировать два сфокусированных пучка атомарного водорода или дейтерия высокой мощности. В описываемых экспериментах в каждую амбиполярную ячейку было установлено по одному инжектору атомов дейтерия (см. рисунок 4.1.1).

Для улучшения условий работы первой стенки непосредственно перед началом эксперимента предусмотрено напыление на специально подготовленную шероховатую внутреннюю поверхность камеры нескольких слоев титана. Это делается с помощью дугового титанового испарителя кольцевой формы, находящегося непосредственно внутри камеры.

Первым шагом в экспериментах по исследованию удержания плазмы с помощью амбиполярных барьеров было получение устойчивого накопления быстрых ионов в двух компактных пробкотронах, которые должны выполнять функции амбиполярных ячеек.

Оба компактных пробкотрона на начальном этапе эксперимента заполнялись теплой проточной «мишенной» плазмой из центральной ячейки ГДЛ. В типичных условиях экспериментов плотность протекающей плазмы составляла $n_0 \leq 10^{13} \text{ см}^{-3}$, а ее электронная температура была сравнима с температурой в центральной части ГДЛ и составляла около 100 эВ. Затем с задержкой на 200 мкс от начала атомарной инжекции в центральной части ГДЛ, в каждый из КП, перпендикулярно оси установки инжектировалось по одному сфокусированному пучку атомов дейтерия с энергией $E = 20\text{-}25 \text{ кэВ}$, дли-

тельностью 4 мс и мощностью около 0,5 МВт. В результате ионизации атомов в КП формировались компактные плазмоиды, состоящие из быстрых ионов дейтерия с сильно анизотропной распределением и плотностью, в несколько раз превышающей плотность фоновой изотропной плазмы.

Накопление быстрых ионов в КП можно было наблюдать по росту электронной плотности. На рисунке 4.1.3 приведена линейная плотность электронов в режимах с и без инжекции в КП ГДЛ сфокусированных атомарных пучков. Данные измерения проводились в западном КП (КП-3) с помощью дисперсионного интерферометра в составе диагностического комплекса ГДЛ. В первом приближении линейной плотности электронов соответствует линейная плотность горячих ионов, поскольку в области плазмоида количество теплой мишенной плазмы мало. Аналогичным образом происходило накопление быстрых ионов и во втором КП-В, что контролировалось ослаблением атомарного пучка и диамагнитным зондом.

На рисунке 4.1.4 представлен профиль плотности горячих ионов в экваториальной плоскости западного КП, полученный с помощью анализатора атомов перезарядки. Для построения профилей был выбран промежуток времени с 2 мс до 3 мс после начала инжекции в компактный пробкотрон. Профиль нормирован на линейную плотность быстрых ионов, вычисленную по линейной плотности электронов, полученной из показаний дисперсионного интерферометра (см. рис. 4.1.3). Полученное таким образом максимальное значение плотности

быстрых ионов в центре КП в описываемых экспериментах составило $1,1 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$.



Рис.4.1.3. Линейная плотность электронов в западном КП.

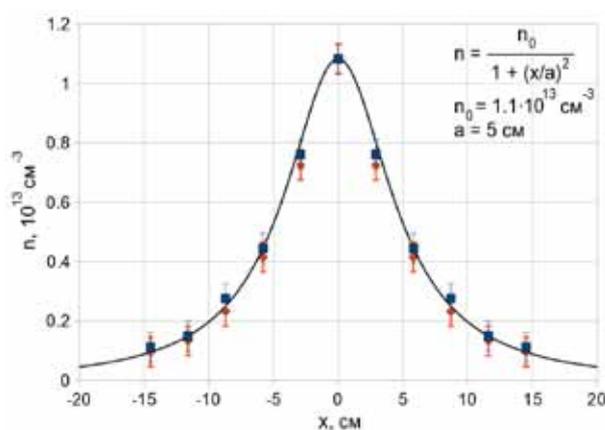


Рис. 4.1.4. Профиль плотности горячих ионов в экваториальной плоскости западного КП.

Рост плотности быстрых анизотропных ионов в концевых КП привел к образованию в этих ячейках «горба» амбиполярного потенциала, который препятствовал потерям ионов мишенной плазмы из центральной части ГДЛ.

Основной целью проводимых экспериментов было исследование возможности использования КП в качестве амбиполярных пробок для улучшения продольного удержания. При этом основное внимание уделялось измерениям радиальных профилей электронной температуры и плотности в основном пробкотроне ГДЛ, измерениям продольных потерь плазмы через КП, а также величине перепада амбиполярного потенциала в режимах с инжекцией атомарных пучков в концевые компактные пробкотроны и без нее. В результате этих исследований продемонстрирован эффект амбиполярного удержания плазмы в ГДЛ с двумя амбиполярными пробками в режиме умеренных параметров плазмы. Эффект проявлялся в том, что плот-

ность потока теплых ионов, покидающих ловушку ГДЛ через секции КП с восточного и западного конца установки, были существенно меньше для режимов с инжекцией атомарных пучков в КП, чем без нее.

Основной диагностикой для определения степени подавления продольных потерь были пироэлектрический болометр и сеточный зонд, расположенные на одной подвижной штанге рядом друг с другом. Два одинаковых набора, состоящих из болометра и зонда располагались в восточном и западном расширителях в точке с пробочным отношением $R_d = 0,7$ (см. рис. 4.1.1). С их помощью были измерены временные и радиальные зависимости абсолютной плотности тока ионов в расширители. Стоит отметить, что с восточной стороны была невозможна установка системы болометр-зонд на радиусы вблизи оси системы, так как эта область проецировалась на катод дугового источника предварительной плазмы.

На рисунке 4.1.5 представлены радиальные профили тока ионов в западном расширителе в режимах с инжекцией атомарных пучков в оба КП (треугольники) и без неё (ромбы). То есть, с созданием в компактном пробкотроне (в данном случае в КП-3) плотного анизотропного плазмоида, и, следовательно, амбиполярного барьера на пути теплых ионов из центральной части ловушки, и без него. Радиусы на этом и всех последующих рисунках для удобства сравнения результатов даны в пересчете по магнитному потоку на центральную плоскость ГДЛ. Как видно из рисунка, поток ионов через КП-3, при создании в нем амбиполярного барьера, ослаблялся более чем в 2 раза.

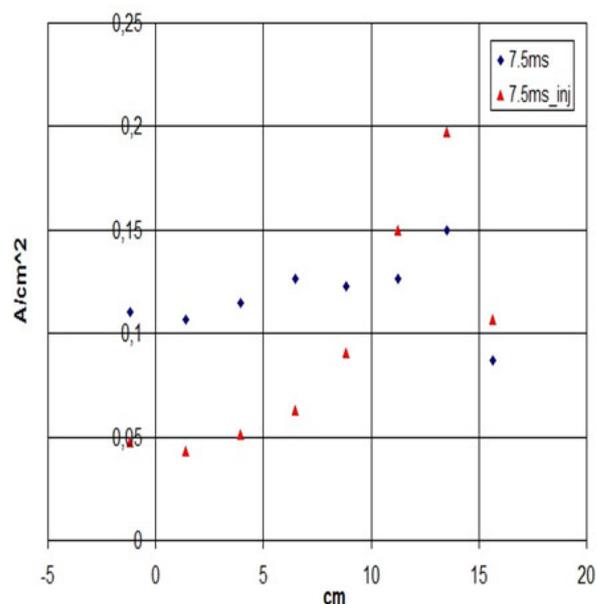


Рис.4.1.5. Радиальные профили плотности потока ионов, снятые при помощи сеточного зонда в расширителе вблизи западного плазмодриемника.

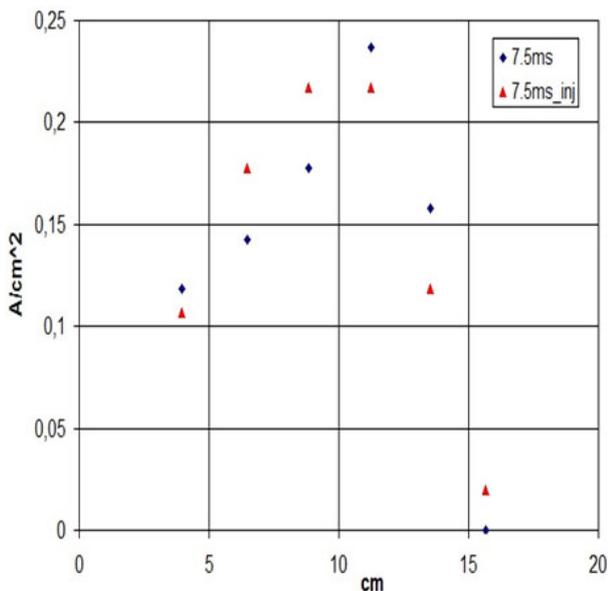


Рис.4.1.6. Радиальные профили плотности потока ионов, снятые при помощи сеточного зонда в расширителе вблизи восточного плазмодриемника.

На рисунке 4.1.6 представлены аналогичные профили для восточного расширителя. Ослабление потока через КП-В было меньше. Возможно, это связано с газовыми условиями в восточном расширителе из-за расположения в нем дугового источника плазмы.

При помощи анализа спектра продольных энергий ионов, покидающих ловушку через амбиполярную ячейку, также возможно измерить максимальное значение амбиполярного потенциала на данной силовой линии. Естественным образом, эта величина соответствует минимальной энергии ионов, то есть «сдвигу» функции распределения относительно начала координат. Измерение спектра продольных энергий (или продольной компоненты функции распределения по скоростям) ионов плазмы, покидающих ловушку через пробку, производилось при помощи сеточного анализатора со сканированием запирающего напряжения. Анализатор был расположен в области расширителя за КП-3. На рисунке 4.1.7 приведены радиальные профили амбиполярного потенциала плазмы, измеренные данным методом. Профиль (а) соответствует режиму с инжекцией в КП, профиль (б) – без нее, то есть свободное течение плазмы через дополнительные КП. Там же на рисунке 4.1.7(в) приведена разность полученных профилей. По данным проведенных измерений, при создании в концевых пробкотронах плотных сгустков горячих ионов, величина скачка амбиполярного потенциала в КП составила ~ 100 В (см рис. 4.1.7(в)), что сравнимо с электронной температурой вытекающей мишенной плазмы в этом режиме.

В этих экспериментах были проведены из-

мерения плотности и температуры электронов в центральной плоскости ГДЛ с использованием метода томсоновского лазерного рассеяния. Радиальный профиль плотности мишенной плазмы при «включении» двух амбиполярных пробок менялся, как показано на рисунке 4.1.8. Аналогично предыдущему рисунку профиль (а) соответствует режиму с инжекцией в КП, профиль (б) – без нее, (в) – разность.

Электронная температура плазмы при этом оставалась практически неизменной. Это обстоятельство может быть объяснено тем, что с существенным повышением плотности плазмы локальный энергобаланс системы изменялся. Так, например, мощность инжекции оставалась неизменной в ходе всех экспериментов и определялась энергетикой систем питания инжекторов, следовательно, при увеличении плотности плазмы нагрев пучками уменьшался в пересчете на ион-электронную пару. С другой стороны увеличение плотности плазмы на данной силовой линии приводило к увеличению (до 2-х раз на оси!) потока, падающего на пробку, что даже при использовании амбиполярных барьеров, уменьшающих этот поток, приводило в результате к выравниванию потоков с и без амбиполярных пробок. Экспериментально этот эффект наблюдался при измерении потока ионов через восточный КП (см. рис.4.1.6), где на некоторых силовых линиях поток на зонд через амбиполярную ячейку был даже несколько больше, чем без образования запирающего потенциала.

Тем не менее, эффект увеличения плотности плазмы из-за улучшения продольного удержания, вызванного формированием на краях амбиполярных барьеров, был экспериментально продемонстрирован и является хорошим заданием для дальнейшего исследования амбиполярного удержания в ловушках типа ГДЛ.

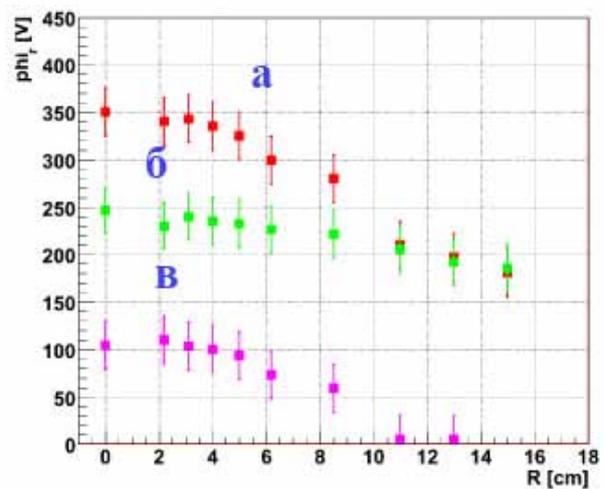


Рис. 4.1.7. Радиальный профиль амбиполярного потенциала плазмы с инжекцией (а) и без инжекции (б) в КП ГДЛ, (в) - разность между профилями.

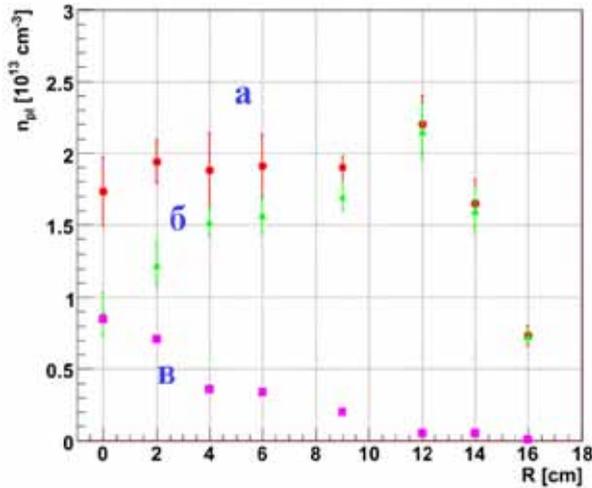


Рис. 4.1.8. Радиальный профиль плотности плазмы в центральной части ГДЛ в режимах без инъекции атомарных пучков в КП (треугольники, а) и с инъекцией в КП (кружки, б). Квадратами (в) показана разность между двумя профилями.

Оценим из полученных экспериментальных данных время продольного удержания плазмы τ_{\parallel} и параметр удержания $n\tau_{\parallel}$ для частиц в приосевой области в режимах с инъекцией (обозначим в уравнениях его звездочкой *) и без инъекции пучков в оба КП.

По данным измерений, приведенных на рисунках 4.1.5 и 4.1.6, продольный поток плазмы из ловушки вблизи оси в момент времени 7,5 мс без инъекции в КП атомарных пучков (без создания амбиполярного барьера) можно оценить как:

$$j_3(r=0, t=7,5 \text{ мс}) \approx j_B = j \approx 0,1 \text{ А/см}^2$$

Здесь j_3 и j_B - потоки теплых ионов через западный и восточный КП соответственно. При создании амбиполярных барьеров в КП поток теплых ионов вблизи оси по данным измерений уменьшается примерно в два раза с западной стороны, и оставался на том же уровне с восточной:

$$j_3^* \approx j/2, \quad j_B^* \approx j.$$

Напомним, что * мы обозначили параметры эксперимента с использованием амбиполярного запираения.

Как следует из рисунка 4.1.8, плотность плазмы в центральной части ГДЛ вблизи оси увеличивалась в 2 раза при использовании амбиполярного запираения, то есть:

$$n^* = 2n.$$

Время продольного удержания на осевой силовой трубке можно оценить как время вытекания плазмы плотностью n из единичного объема V этой трубки потоками j_3 и j_B через западную и восточную пробки соответственно:

$$nV/\tau_{\parallel} \propto j_3 + j_B$$

Тогда для случая без амбиполярного запираения (только магнитные пробки):

$$\tau_{\parallel} \propto nV/2j$$

А для амбиполярного запираения:

$$\tau_{\parallel}^* \propto n^*V/(j+j/2) = 4nV/3j = (8/3) \cdot \tau_{\parallel} \approx 2,7 \tau_{\parallel}$$

Таким образом, время продольного удержания для частиц в приосевой области ГДЛ по данным экспериментальных измерений увеличилось в 2,7 раза при использовании амбиполярных барьеров $\tau_{\parallel}^* \approx 2,7 \tau_{\parallel}$. Что же касается параметра $n\tau_{\parallel}$, иллюстрирующего улучшение продольного удержания, то:

$$n^*\tau_{\parallel}^* \approx 5,4 \cdot n\tau_{\parallel}$$

Аналогичные вычисления для других радиусов с последующим усреднением по сечению плазменного шнура ($\langle \dots \rangle$) дают:

$$\langle \tau_{\parallel}^* \rangle \approx 1,8 \langle \tau_{\parallel} \rangle \quad \text{и}$$

$$\langle n^*\tau_{\parallel}^* \rangle \approx 2,9 \cdot \langle n\tau_{\parallel} \rangle$$

соответственно.

Из полученных сравнений можно сделать вывод, что в данных экспериментах при использовании амбиполярных пробок с достаточно умеренными параметрами (высота горба потенциала была порядка температуры плазмы) было получено улучшение продольного удержания более чем в 5 раз на оси установки и почти в 3 раза в среднем по сечению плазмы.

Улучшение удержания мишенной плазмы в ГДЛ положительным образом отражалось на накоплении и удержании популяции быстрых ионов в центральной части ГДЛ. Из данных измерения локального диамагнетизма (MSE) можно получить максимальное значение относительного давления плазмы $\beta_{\text{max}} = 0,45$, и максимальную плотность быстрых ионов в точке остановки $n_{f\text{max}} \approx 4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ (для средней энергии ионов $\langle E_f \rangle = 10 \text{ кэВ}$). Эти значения являются рекордными для установки ГДЛ с мощностью инъекции 4,5 МВт (6 нагревных инжекторов в центральной части).

Для дальнейшего исследования влияния эффекта амбиполярного запираения на параметры удерживаемой в ГДЛ плазмы было решено несколько увеличить магнитное поле в центральной части установки ГДЛ с 2,95 до 3,35 кГс. Повышение магнитного поля привело к более ярким результатам, демонстрирующим повышение параметров плазмы из-за использования двух амбиполярных барьеров. На рисунке 4.1.9 приведена временная зависимость линейной плотности плазмы в центральной плоскости ГДЛ по данным дисперсионного интерферометра для режима с повышенным магнитным

полем. Верхняя кривая (1) — с инъекцией атомарных пучков в оба КП, нижняя (2) — без инъекции.

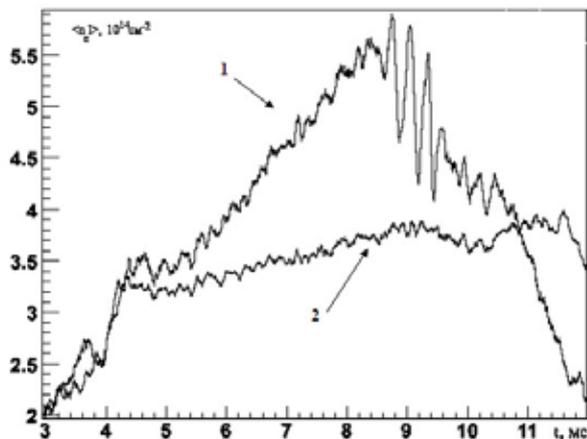


Рис. 4.1.9. Временная зависимость линейной плотности плазмы в центральной плоскости ГДЛ для режима с повышенным магнитным полем. 1 – с инъекцией в оба КП; 2 – без инъекции.

Как видно из рисунка, инъекция пучков в КП, то есть создание амбиполярных барьеров в этом режиме приводила к существенному росту плотности (линейная плотность увеличилась почти в 2 раза!). Рост плотности плазмы в этом режиме ограничивался развивающейся МГД-неустойчивостью, о чем свидетельствуют колебания плазмы в момент времени после 8 мс по шкале рисунка 4.1.9.

В режимах с повышенным магнитным полем более ярко проявилось влияние амбиполярного потенциала на максимальные параметры плотности и температуры плазмы в центральной части ГДЛ. Согласно данным измерений системой томсоновского рассеяния, в устойчивом режиме с повышенным магнитным полем и амбиполярными пробками температура электронов на оси в момент времени $t = 8$ мс составила $T_e^* = 138 \pm 3,5$ эВ при плотности $n^* = (2,2 \pm 0,2) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Для сравнения при том же значении магнитного поля, но без амбиполярного запираания (без инъекции пучков в концевые КП), температура была заметно ниже: $T_e = 109 \pm 9$ эВ, а плотность при этом была более чем в 2 раза ниже: $n = (0,95 \pm 0,04) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Таким образом, в режиме с повышенным магнитным полем удалось продемонстрировать существенный рост плотности и температуры, вызванный улучшением продольного удержания при использовании двух амбиполярных ячеек в виде концевых КП с перпендикулярной инъекцией в них атомарных пучков.

Для исследования эффективности каждой из амбиполярных пробок были проведены специальные эксперименты, когда инъекция пуч-

ков, то есть создание амбиполярного барьера, велась только в восточный или только в западный КП. Результаты этих исследований представлены на рисунке 4.1.10. Как видно, оба КП обладали примерно одинаковой эффективностью в качестве амбиполярных пробок и давали половинный вклад в улучшение удержания.

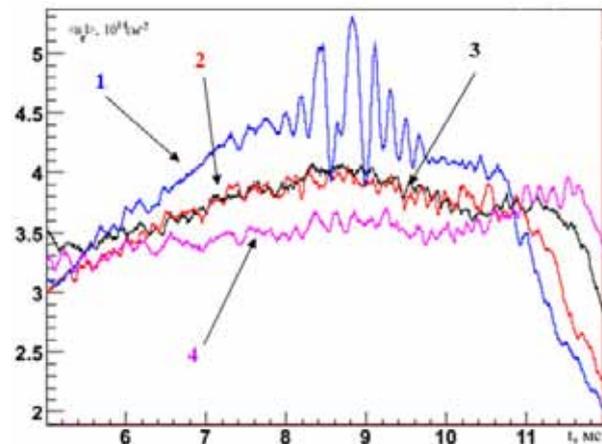


Рис. 4.1.10. Сравнение эффективности восточного и западного КП по временной зависимости линейной плотности плазмы $\langle n \rangle$ в центральной плоскости ГДЛ для режимов с повышенным магнитным полем: 1 – инъекция пучков в оба КП; 2 – инъекция пучка только в восточный КП; 3 – инъекция пучка только в западный КП; 4 – без инъекции пучков в КП.

Исследование колебаний потенциала плазмы и магнитного поля в области ионно-циклотронных частот показало отсутствие в этих режимах альфвеновской ионно-циклотронной неустойчивости, которая наблюдалась в предыдущих экспериментах на установке ГДЛ с одним компактным пробкотроном. Это объясняется более низкими параметрами ионных плазмодов в данных экспериментах в КП и пороговым характером развития данной микронеустойчивости.

В заключение раздела приведем основные результаты, полученные в ходе представленного цикла работ:

- Изготовлены и смонтированы на установке ГДЛ два концевых компактных пробкотрона (КП) с перпендикулярной инъекцией в них мощных пучков атомов водорода или дейтерия.

- Экспериментально продемонстрировано накопление и удержание в двух КП сгустков быстрых ионов со средней энергией 10-15 кэВ и плотностью в несколько раз превышающую плотность мишенной проточной плазмы.

- Продемонстрировано улучшение продольного удержания при использовании двух амбиполярных барьеров, создаваемых в компактных пробкотронах с обеих сторон установки ГДЛ.

При этом наблюдалось двукратное увеличение плотности плазмы на оси в центральной части ГДЛ, уменьшение продольных потерь и заметное повышение температуры электронов. В результате, параметр πt_{\parallel} был увеличен более чем в 5 раз по сравнению с режимом без амбиполярных пробок.

4.1.2 Результаты первых экспериментов по нагреву плазмы электронным пучком на установке ГДЛ

В проектах развития экспериментальных исследований на ГДЛ и установках следующего поколения на ее основе важная роль отводится мощным электронным пучкам, инжектируемым в ловушку из «запробочных» областей вдоль магнитного поля. На электронные пучки при этом возлагается две функции:

- 1) дополнительный нагрев электронной компоненты плазмы;
- 2) управление радиальным профилем электрического потенциала плазмы, что необходимо для преодоления влияния МГД неустойчивостей на удержание частиц и энергии.

Для успешной реализации этих функций необходимо предварительно решить две задачи:

- 1) проверить возможность инжекции электронного пучка с мощностью мегаваттного диапазона через пробочный узел с большой степенью сжатия пучка;
- 2) определить диапазон плотностей потока ионов из плазмы, где генератор электронного пучка может работать надежно.

Решение этих задач было основным мотивом цикла первых экспериментов по инжекции электронного пучка в ГДЛ, которые были проведены в конце 2011 года.

Для формирования пучка была разработана электронная пушка, схематично изображенная на рисунке 4.1.11. Катод из LaB₆ диаметром 20 мм нагревался электронным пучком от дополнительной «малой электронной пушки» с энергией электронов 3,5 кэВ. Такая двухступенчатая схема позволила минимизировать мощность нагрева основного катодного узла и использовать воздушное охлаждение. Анод был выполнен в виде молибденовой сетки толщиной 0,5 мм с 37 отверстиями диаметром 2,4 мм, расположенными в гексагональном порядке. Суммарная площадь отверстий составила 1,67 см². Катод был закрыт молибденовой маской идентичной формы. На рисунке 4.1.12 показана фотография электронной пушки.

Параметры электронной пушки в ходе экспериментов на установке ГДЛ были следующими: анодное напряжение – 40 кВ, ток пучка – 10 А, длительность работы – 0,3 мс.

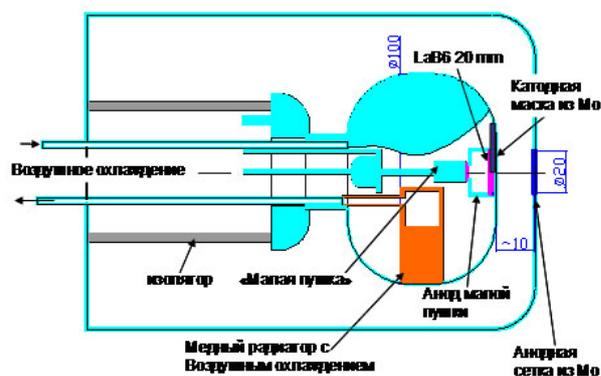


Рис. 4.1.11. Схематическое изображение электронной пушки, разработанной для экспериментов на установке ГДЛ.



Рис. 4.1.12. Фотография электронной пушки, подготовленной к монтажу на установке ГДЛ: вид со стороны анода.

Электронная пушка была установлена в одном из торцевых баков-расширителей установки ГДЛ, как показано на рисунке 4.1.13.

На начальном этапе эксперимента электронный пучок инжектировался в режиме без создания плазмы, давление остаточного газа в установке ГДЛ при этом не превышало 3×10^{-5} Па. Ток и энергия пучка регистрировались при помощи подвижного коллектора-калориметра, установленного внутри ловушки вблизи противоположного пробочного узла. Величина магнитного поля в области электронной пушки могла изменяться при помощи специальной катушки, установленной на баке-расширителе. В результате измерений показано, что при степени сжатия пучка в диапазоне $K_{\text{egun}} = 60 \div 120$ (K_{egun} – отношение магнитного поля в пробке к магнитному полю в области анода пушки) пучок без потерь транспортируется внутрь ловушки и регистрируется коллектором-калориметром.

Для изучения взаимодействия пучка с плазмой на установке ГДЛ был реализован «распадный» режим, при котором ловушка за-

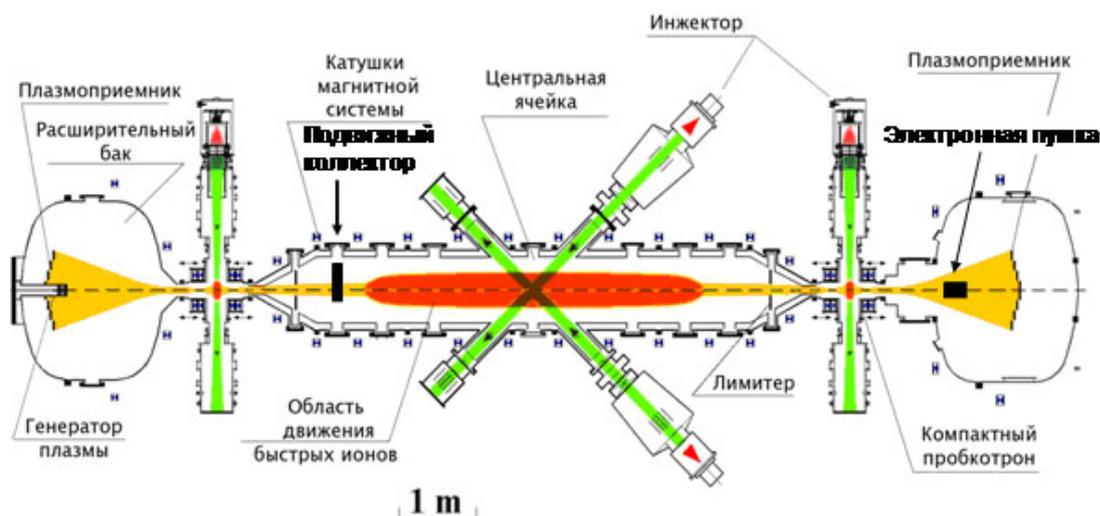


Рис. 4.1.13. Схематическое изображение ГДЛ с электронной пушкой и подвижным калориметром для измерений параметров пучка электронов.

полнялась в течение 4 мс теплой плазмой при помощи плазменного генератора, расположенного в противоположном от места расположения электронной пушки баке-расширителе. Затем плазма свободно истекала из ловушки, и ее плотность экспоненциально спадала во времени. Включая электронную пушку в различные моменты времени на стадии истечения, можно было производить инъекцию электронов в плазму различной плотности в диапазоне $n = 0 \div 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, электронная температура плазмы составляла несколько электрон-вольт.

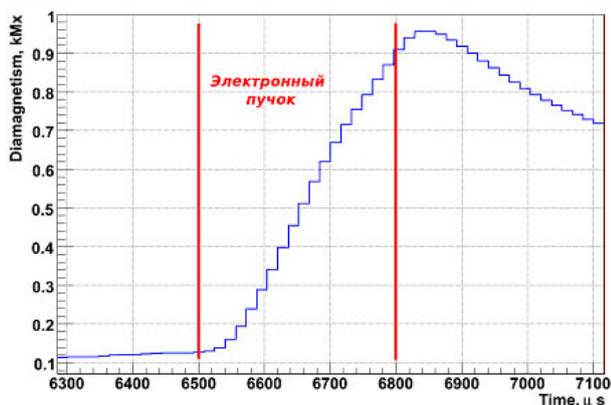


Рис. 4.1.14. Форма импульса сигнала от диамагнитного зонда, расположенного в центральной плоскости установки ГДЛ. Амплитуда импульса пропорциональна полному энергосодержанию плазмы.

На рисунке 4.1.14 представлена типичная форма импульса сигнала от диамагнитного зонда, расположенного в центральной плоскости установки ГДЛ. Амплитуда импульса сигнала диамагнитного зонда пропорциональна полной энергии плазменного столба. Из измерений видно, что энергия плазмы растет линейно в течение всего времени инъекции электронного пучка, и стационарное состояние по нагреву

плазмы пучком не достигается.

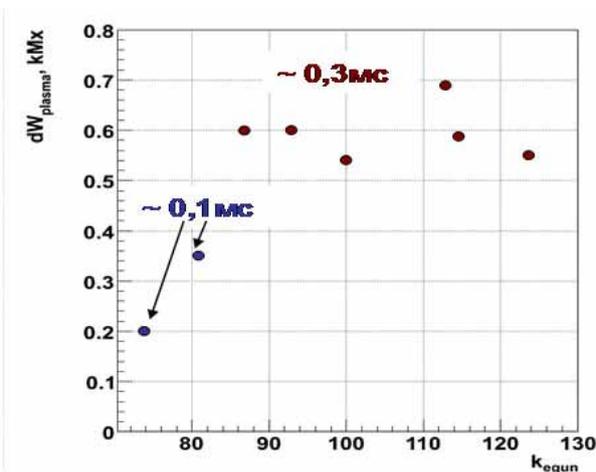


Рис. 4.1.15. Зависимость амплитуды диамагнитного сигнала (энергии, переданной пучком плазме) от степени сжатия пучка в пробке K_{egun} .

Рисунок 4.1.15 показывает основной результат данной серии измерений – зависимость амплитуды диамагнитного сигнала (энергии, переданной пучком плазме) от степени сжатия пучка в пробке K_{egun} .

Видно, что в диапазоне $K_{egun} = 85 \div 120$ энергия, переданная пучком плазме, остается неизменной. Отсюда следует вывод, что в этом диапазоне степеней сжатия пучок беспрепятственно транспортируется внутрь ловушки и взаимодействует с плазмой. При $K_{egun} < 85$ плотность потока ионов на анод пушки превышает 15 mA/cm^2 , что является предельной величиной диапазона надежной работы электронной пушки. Длительность работы ее сокращалась и ограничивалась пробоями. Прирост электронной температуры измерялся при помощи ленгмюровского зонда и системы лазерного рассеяния. Результаты измерений хорошо соот-

ветствуют скейлингу, полученному в прежние годы на ряде импульсных установок с инъекцией электронного пучка в плазму (рис. 4.1.16). В отдельной серии экспериментов с инъекцией атомарных пучков показано, что электронный пучок не влияет на удержание горячих ионов.

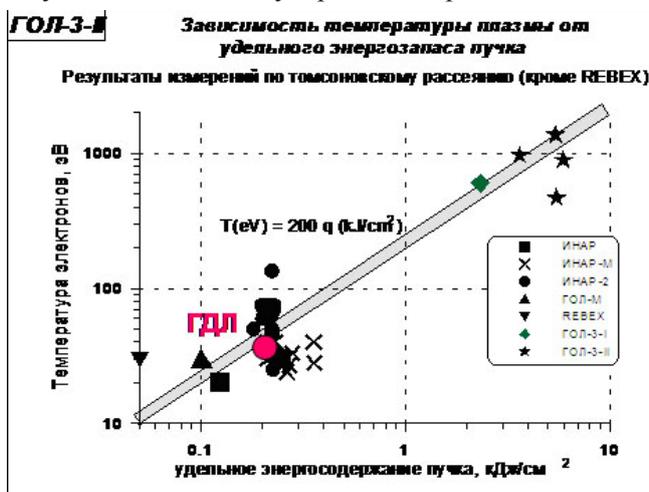


Рис. 4.1.16. Скейлинг зависимости прироста электронной температуры от удельного энерго содержания пучка, полученный в прежние годы на ряде импульсных установок с инъекцией электронного пучка в плазму. Красная точка соответствует результату эксперимента на установке ГДЛ.

Таким образом, по результатам первых экспериментов с инъекцией электронного пучка на установке ГДЛ можно сделать следующие выводы:

- продемонстрирована возможность инъекции электронного пучка через магнитную пробку со степенью сжатия до $K_{\text{egun}} = 120$ в плазму ГДЛ.
- показано, что электронная пушка работает надежно в диапазоне плотностей тока ионов плазмы на ее анод $0 < j_i < 15 \text{ mA/cm}^2$.
- энерго содержание плазмы растет линейно в течение всего времени инъекции электронного пучка. При этом энергия, переданная от пучка к плазме, не зависит от степени сжатия пучка в пробке в диапазоне $80 < K_{\text{egun}} < 120$.

Инъекция электронного пучка не влияет на удержание горячих ионов.

4.1.3 Создание системы ЭЦР нагрева плазмы в газодинамической ловушке ГДЛ.

В 2011 году в ИЯФ СО РАН совместно с ЗАО «ГИКОМ» (г. Нижний Новгород) и Институтом прикладной физики РАН (ИПФ РАН, г. Нижний Новгород) шли активные работы по созданию на установке ГДЛ системы ЭЦР нагрева плазмы. Запуск всей системы и первые эксперименты по ЭЦР нагреву плазмы в уста-

новке ГДЛ запланированы на 2012 год. Ниже будут представлены результаты работ по различным этапам подготовки и вводу в действие системы ЭЦР нагрева.

В ходе реализации начального этапа проекта на стенде в ЗАО «ГИКОМ» (г. Нижний Новгород), произведены запуск, испытание и измерение рабочих характеристик двух гиротронных модулей. Продемонстрировано, что при частоте излучения 54,4 ГГц их мощность достигает паспортных 450 кВт при напряжении высоковольтного питания около 70 кВ. Произведены прецизионные измерения индивидуальных фазовых характеристик СВЧ излучения на выходе гиротронов. Результаты измерений в дальнейшем использованы при проектировании и изготовлении зеркал квазиоптических фильтров.

Совместно с сотрудниками Института прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород) создан численный код для расчета распространения и поглощения электромагнитного излучения в аксиально-симметричной магнитной ловушке. Численный код был использован в дальнейшем для численного моделирования процессов ввода в плазму и поглощения СВЧ излучения в области пробочных узлов установки ГДЛ, где имеются зоны электронного циклотронного резонанса.

На начальном этапе работ по конструированию элементов системы СВЧ нагрева плазмы на установке ГДЛ была проведена серия вычислений, направленная на оптимизацию процессов проникновения волн в плазму, распространения волны к зоне циклотронного резонанса и поглощения СВЧ мощности плазмой ГДЛ. Численное моделирование было проведено для широкого диапазона плотностей плазмы и углов ввода микроволнового пучка по отношению к оси симметрии плазменного столба. Рисунок 4.1.17 демонстрирует пример результатов таких расчетов. Левая часть рисунка демонстрирует разделение лучей на захваченные и незахваченные в зависимости от угла ввода для плотности плазмы $1,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Справа показаны лучи, введенные под одним углом 55° для набора плотностей плазмы в диапазоне $N_0 = 0,5 - 2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$.

Важно отметить, что мощность СВЧ излучения, введенная по захваченным лучам, поглощается с эффективностью 100%. Моделирование показывает, что захват возможен в достаточно широком диапазоне плотностей плазмы для различных радиальных профилей плотности, соответствующих различным экспериментальным условиям. Наиболее важные результаты суммированы на рисунке 4.1.18, где области, соответствующие захваченным пучкам, представлены на диаграмме «плотность плазмы – угол ввода». Были рассмотрены три возможные позиции последнего зеркала системы ввода излучения в плазму (см. вставку на

рис. 4.1.18). В процессе оптимизации конструкции устройства ввода СВЧ излучения в плазму была выбрана позиция 1 и угол инжекции 54° . Выбранная геометрия позволяет эффективно вводить излучение в плазму с плотностью в диапазоне $0,5-2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$, при этом углы ввода должны находиться в области $50-55^\circ$.

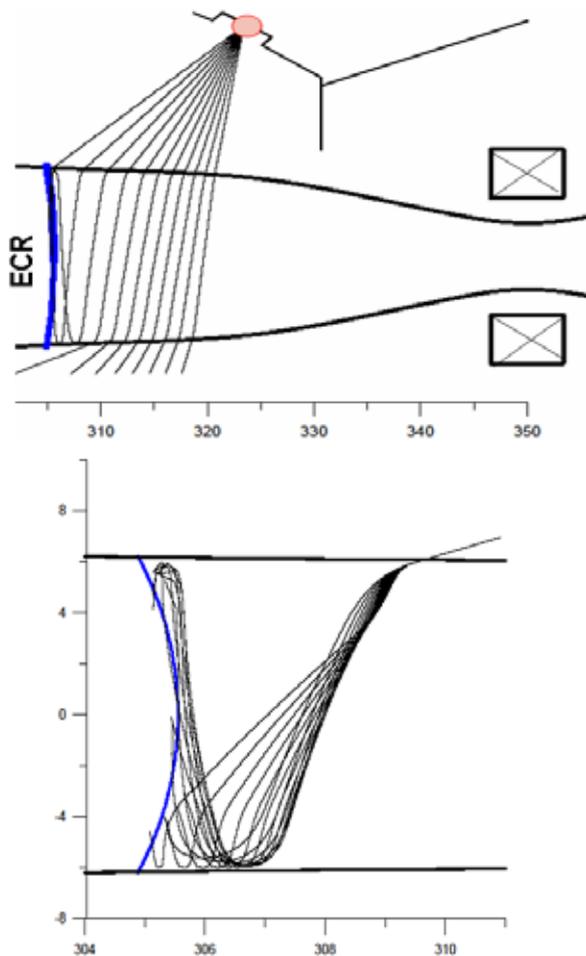


Рис. 4.1.17. Вверху – геометрооптические лучи для набора углов ввода в диапазоне $15^\circ-70^\circ$, плотность плазмы – $1,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Внизу – лучи, введенные под одним углом 55° для набора плотностей плазмы в диапазоне $N_0 = 0,5-2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$.

На рисунке 4.1.19 показан пример расчетных пространственных профилей, описывающих плотность поглощенной мощности $Q(r)$ и $Q(z)$ в координатах (r, z) для параметров, соответствующих рис. 4.1.18. Для расчетов были выбраны 10 геометрооптических лучей в диапазоне углов ввода $50^\circ-55^\circ$ с целью моделирования поглощения формируемого квазиоптического пучка. Результаты расчетов предсказывают достаточно плоские и широкие радиальные профили плотности поглощенной мощности с хорошей локализацией ($\sim 4 \text{ см}$) в продольном направлении. Нижний график на рисунке 4.1.19 демонстрирует поглощенную мощность в зависимости от скорости электронов $Q(v_{||})$. Из

этой зависимости следует, что в предложенном сценарии ожидается поглощение мощности в основном тепловыми электронами.

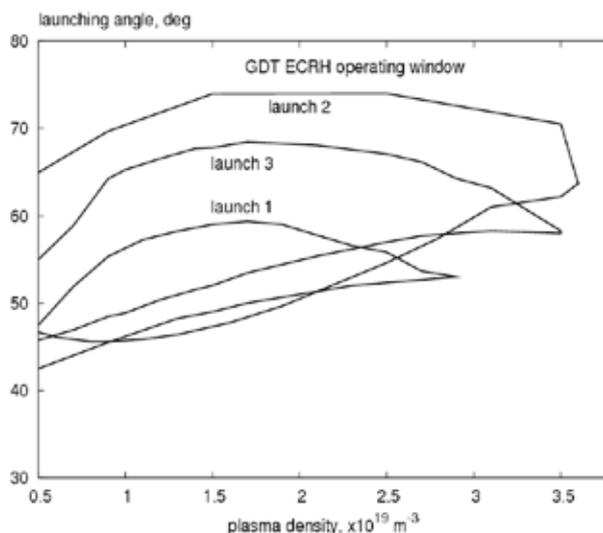


Рис. 4.1.18. Области эффективного захвата пучков на диаграмме «плотность плазмы – угол ввода» для трех возможных позиций последнего зеркала системы ввода излучения в плазму. Позиция 1 была выбрана для конструирования.

Основные выводы по результатам численного моделирования можно сформулировать следующим образом.

1. Показано, что возможен эффективный захват и полное поглощение пучков СВЧ излучения с частотой $54,5 \text{ ГГц}$, введенных в плазму вблизи пробочных узлов со стороны ловушки в диапазоне углов $50^\circ-55^\circ$ для плотностей плазмы $N_0 = 0,5-2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Полученные данные взяты за основу для проектирования системы ЭЦР нагрева плазмы в установке ГДЛ.

2. Результаты расчетов предсказывают достаточно плоские и широкие радиальные профили плотности поглощенной мощности с хорошей локализацией ($\sim 4 \text{ см}$) в продольном направлении

3. Показано, что в выбранном сценарии ввода излучения в плазму ожидается поглощение излучения в основном тепловыми электронами.

Результатом моделирования и электродинамических расчетов, которые были выполнены в коллаборации с сотрудниками ИПФ РАН, стало техническое задание на проектирование системы формирования пучков СВЧ излучения, их транспортировки и ввода в плазму установки ГДЛ.

В июле 2011 года работы по конструированию всех элементов системы СВЧ нагрева для установки ГДЛ были завершены. В ходе работ были спроектированы также держатели и устройства для юстировки волноводных линий,

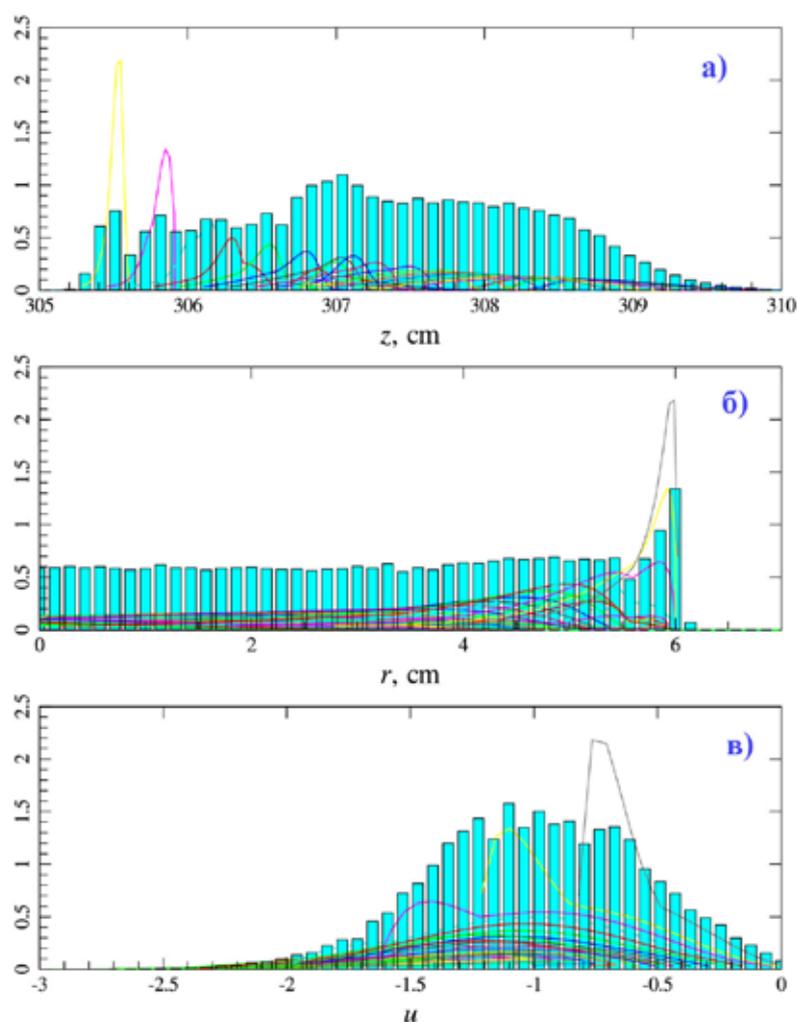


Рис. 4.1.19. Профили плотности поглощаемой мощности: (а) - радиальный, (б) - продольный, для набора из 10 лучей в диапазоне углов 50° - 55° , плотность плазмы $N_0 = 1,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. (в) – плотность поглощаемой мощности в зависимости от скорости электронов, нормированной на их тепловую скорость $u = v_1 / v_T$.

а также концевые элементы центральной вакуумной камеры ГДЛ с окнами для ввода микроволнового излучения и подвижными заслонками с пневматическими приводами для защиты окон от нанесения титановой пленки, которое применяется для подготовки первой стенки к рабочему импульсу установки.

На рисунке 4.1.20 (вверху) показана 3D модель установки ГДЛ с системой СВЧ нагрева. Гиротронные модули с квазиоптическими фильтрами располагаются в специализированном помещении над установкой. С помощью волноводных трактов и волноводных уголков пучки СВЧ излучения подводятся к торцевым частям магнитной ловушки, где расположены зоны циклотронного резонанса. Ближайшие к установке ГДЛ волноводные уголки содержат специальную систему зеркал, позволяющую реализовать оптимальную для ввода в плазму поляризацию СВЧ излучения. На рисунке 4.1.20 (внизу) показан узел ввода пучков СВЧ излучения в плазму.

Работы по подготовке специализированного помещения для гиротронных модулей и монтажу самих гиротронных модулей полностью завершены к концу 2011 года. Проведен ремонт помещения, установлены и подготовлены к испытаниям криогенные магниты гиротронов, выполнены все электрические, вакуумные и газовые соединения, монтаж трубопроводов технической воды и трассы сброса газообразного гелия из криомагнитов, проведена ревизия электрической сети, смонтирована линия Ethernet для соединения с локальной сетью системы управления и сбора данных установки ГДЛ. Проведена откачка изолирующих вакуумных объемов криогенных магнитов.

На рис. 4.1.21 показана фотография полностью подготовленного специализированного помещения в стадии наладки криомагнитов для гиротронных модулей. На рисунке 4.1.21 показана фотография одного из смонтированных криогенных магнитов, подготовленных к испытаниям и установке гиротронов.

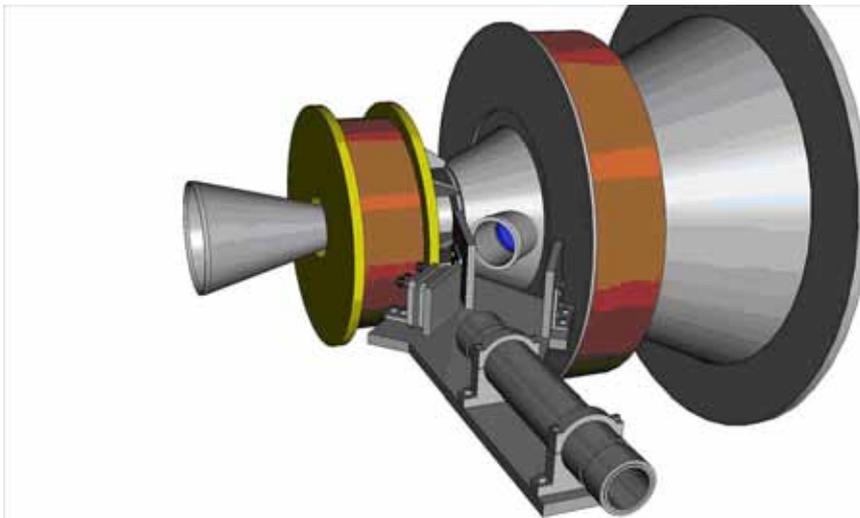
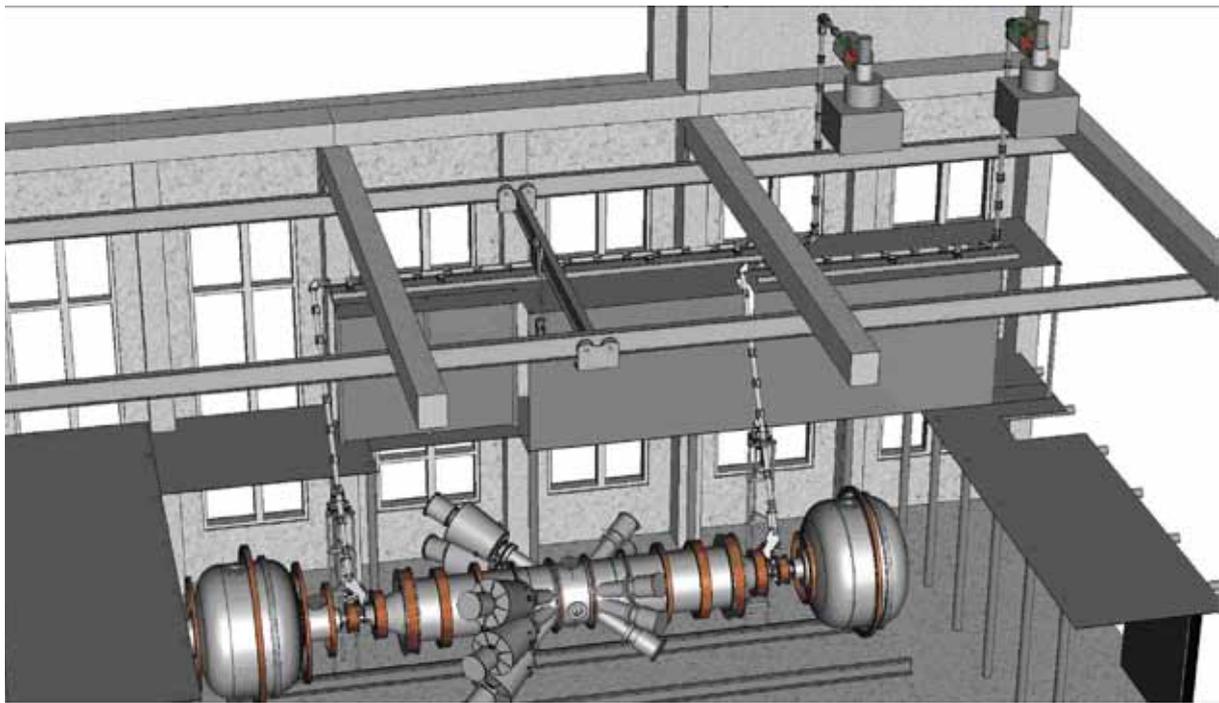


Рис.4.1.20. Вверху: 3D модель установки ГДЛ с системой СВЧ нагрева. Внизу: один из узлов ввода СВЧ мощности в установку ГДЛ.



Рис. 4.1.21. Наладка криогенных магнитов для гиротронных модулей.



Рис.4.1.22. Фотография одного из смонтированных криогенных магнитов, подготовленных к испытаниям и установке гиротронов.

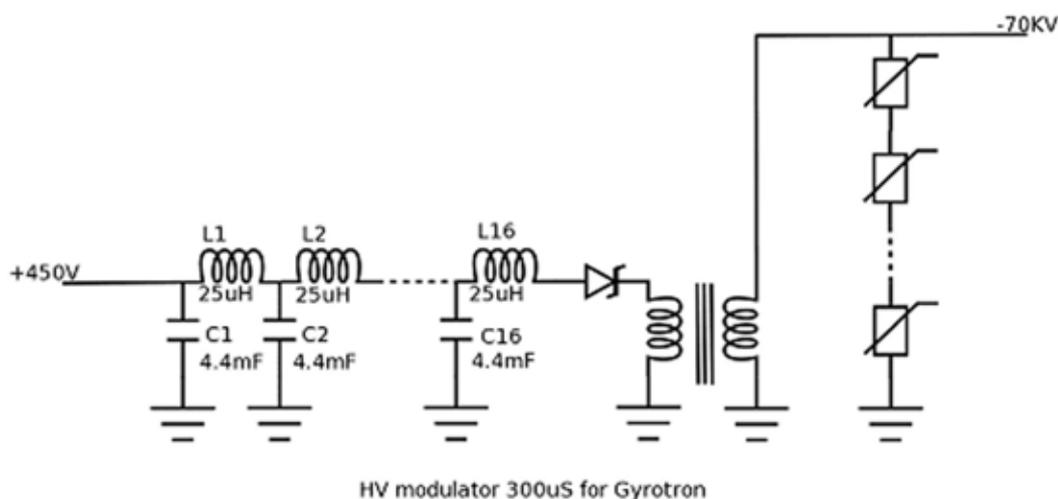


Рис. 4.1.23. Принципиальная схема пилотного варианта высоковольтного модулятора с длительностью работы 300 микросекунд для питания гиротронов.

Для проведения испытаний гиротронов и начальной фазы экспериментов по СВЧ нагреву плазмы был создан пилотный вариант высоковольтного источника питания. Его принципиальная схема приведена на рисунке 4.1.23.



Рис.4.1.24. Пилотный вариант высоковольтного модулятора в процессе испытаний.

Пилотный вариант высоковольтного модулятора имеет следующие характеристики. Выходное напряжение - до 70 кВ, ток нагрузки - до 25 А, длительность импульса - 300 мкс, частота следования - 1/1 мин.

Габариты высоковольтного модулятора

800*800*2000 мм. Вес около 200 кг. Модулятор построен по схеме LC линии, коммутируемой тиристорным ключом на повышающий высоковольтный трансформатор. Стабилизация выходного напряжения осуществляется набором оксидно-цинковых варисторов, подключенным к вторичной обмотке трансформатора. Число включенных варисторов регулируется схемой, осуществляющей ступенчатую стабилизацию выходного напряжения в импульсе с шагом около 500 В. При пробое в нагрузке модулятор выключается до конца текущего импульса. Модулятор смонтирован и испытан на эквивалентную нагрузку. Рисунок 4.1.24 демонстрирует фотографию пилотного варианта высоковольтного модулятора в процессе испытаний.

Наличие пилотного варианта высоковольтного модулятора позволит провести испытание гиротронов, а также начать первую фазу экспериментов по ЭЦР нагреву плазмы в установке ГДЛ. Затем планируется его замена на рабочую версию.

На рисунке 4.1.25 представлена принципиальная схема рабочей версии высоковольтного модулятора для питания гиротронов. Этот вариант модулятора имеет следующие характеристики. Выходное напряжение - до 70 кВ, ток в нагрузке - до 25 А при длительности импульса до 5 мс, частота следования - до 1/1 мин. Габариты 600*1000*2000 мм. Вес - около 800 кг. Модулятор построен по схеме конденсаторного накопителя энергии с ключами на IGBT транзисторах и стабилизацией выходного напряжения набором последовательно включенных варисторов. Число включаемых варисторов регулируется схемой, осуществляющей ступенчатую стабилизацию выходного напряжения в импульсе с шагом около 500 В. Модулятор состоит из 15 последовательно соединенных секций,

заряженных до напряжения около 6 кВ. Каждая секция содержит по 6 конденсаторов К75-28 100 мкФ - 3000 В, соединенных параллельно-последовательно. Включение напряжения конденсаторов на нагрузку производится ключами на транзисторах BUP314D, соединенных последовательно. Источником энергии для зарядки конденсаторов в секции служат по два герметичных свинцовых аккумулятора 12 В – 7 Ач, Энергии в аккумуляторах хватает на 200-300 импульсов модулятора. При пробое в нагрузке модулятор выключается до конца текущего импульса. Также модулятор выключается при СВЧ пробое в выходном окне гиротрона и в волноводном тракте.

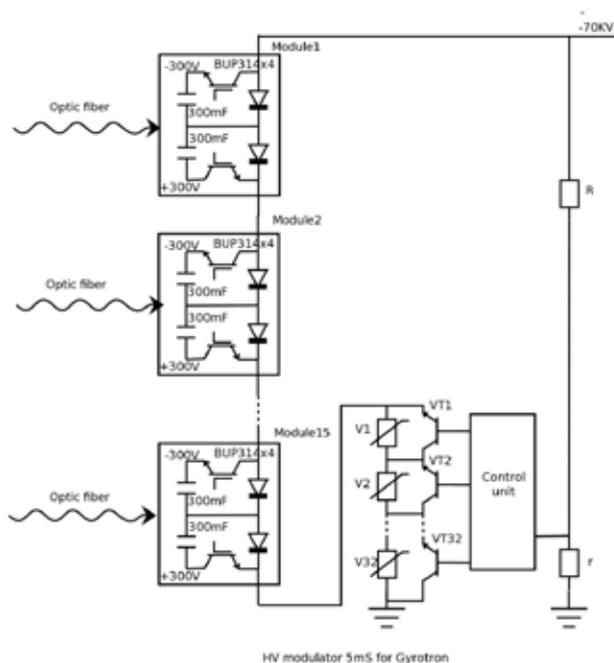


Рис.4.1.25. Принципиальная схема рабочего варианта высоковольтного модулятора с длительностью работы 5 миллисекунд для питания гиротронов.



Рис. 4.1.26. Фотография секции рабочего варианта высоковольтного модулятора в процессе наладки.

Все узлы конструкции отдельной секции модулятора промоделированы и испытаны в рабочем режиме. Конструкция секции и всего модулятора разработана в виде конструкторской документации. Ведется монтаж, тестирование и наладка рабочего варианта отдельной секции, фотография которой показана на рисунке 4.1.26.

К концу 2011 года были проведены работы по проверке работоспособности отдельных элементов системы СВЧ нагрева плазмы на установке ГДЛ. В первую очередь была проверена работоспособность криогенных магнитов. При токе в 60 А получено значение индукции магнитного поля в месте установки резонатора гиротрона $B \approx 2,1$ Тл, что хорошо соответствует паспортным значениям. Следует напомнить, что криогенные магниты были произведены более 20 лет назад и с момента первичных испытаний не эксплуатировались. Следующим этапом была произведена проверка вакуумных условий внутри гиротрона и работоспособности магниторазрядного насоса, предназначенного для поддержания рабочего вакуума. Показано, что рабочий ток магниторазрядного насоса не превышает 100 микроампер, что свидетельствует о соответствии вакуумных условий внутри гиротронов техническим условиям. В настоящее время ведется включение гиротронов и их испытание с пилотным вариантом высоковольтного модулятора для проверки работоспособности гиротронов и измерения мощности излучения.

4.2 Установка ГОЛ-3

4.2.1 Описание и основные режимы работы установки

Установка ГОЛ-3 является уникальным инженерно-физическим комплексом, предназначенным для изучения физики быстрого коллективного нагрева плазмы при помощи сильноточного релятивистского электронного пучка микросекундной длительности и физики многопробочного удержания высокотемпературной плазмы в многопробочной открытой ловушке. Особенностью физики процессов, определяющих поведение плазмы в ловушке, является определяющая роль коллективных и нелинейных эффектов. Научная программа 2011 года была направлена на решение нескольких конкретных задач, направленных на развитие физики и технологии коллективного нагрева плазмы мощным электронным пучком. Параллельно с экспериментами по научным программам, в 2011 году продолжалось развитие экспериментальной базы. Продолжалось развитие схемы генерации длинноимпульсных электронных пучков с плазменным эмиттером. Диагностический комплекс установки расширился за счёт создания новых методик, о которых будет сказано ниже.

Основной соленоид состоит из 103 катушек с независимым питанием и имеет общую длину около 12 м. В стандартной многопробочной конфигурации магнитное поле имеет 52 периода гофрировки (ячеек многопробочной системы) с полем в максимуме 4,8 Тл, в минимуме 3,2 Тл, и шагом 22 см. Пробочное отношение гофрированной ловушки составляет 1,5, то есть установка работает в режиме «слабой гофрировки». Соленоид оканчивается одиночными магнитными пробками с полем 8-9 Тл. Выходной узел установки состоит из источника предварительной плазмы и расширителя с торцевым приёмником пучка. В области выходного расширителя магнитное поле плавно спадает до 0,05 Тл, благодаря чему удельная плотность энергии на поверхности уменьшилась до величины, позволяющей применять металлы в качестве приёмных поверхностей.

Типичный сценарий эксперимента выглядит следующим образом. При помощи нескольких импульсных клапанов в металлической вакуумной камере диаметром 10 см, расположенной внутри соленоида, создаётся требуемое распределение плотности водорода или дейтерия по длине. Далее с помощью специального продольного разряда создается исходная плазма со средней по длине плотностью, которая может варьироваться в диапазоне $(1-30) \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ и температурой $\sim 2 \text{ эВ}$. Затем в плазму инжектируется релятивистский электронный пучок со следую-

щими параметрами: энергия электронов $\sim 0,8 \text{ МэВ}$, ток $\sim 25 \text{ кА}$, длительность по основанию $\sim 12 \text{ мкс}$, энергосодержание $\sim 120 \text{ кДж}$, диаметр пучка 4,1 см (цифра приведена для магнитного поля 3,2 Тл, соответствующего минимумам гофрированного поля). Такой пучок формируется в ленточном релятивистском диоде ускорителя У-2, а затем сжимается и преобразуется в пучок круглого сечения магнитной системой ускорителя. В результате коллективного нагрева плазма приобретает ионную температуру масштаба 2-3 кэВ (в наиболее горячей части плазменного столба). Использование многопробочной схемы удержания (гофрированного магнитного поля) позволяет удерживать горячую плазму гораздо дольше, чем в простой соленоидальной ловушке.

4.2.2 Измерение быстрых флуктуаций плотности плазмы

Флуктуации параметров плазмы на пространственных масштабах, много меньших характерных размеров плазмы, играют определяющую роль в аномальных потерях горячей плазмы поперёк удерживающего магнитного поля. Понимание механизма такого аномально-го поперечного переноса и его подавление является ключевой проблемой создания термоядерного реактора на основе тороидальных магнитных систем. В открытых системах с магнитным удержанием флуктуации плазмы, напротив, могут играть положительную роль, уменьшая продольные потери вдоль магнитного поля и повышая эффективность методов нагрева плазмы. На установке ГОЛ-3 ранее было показано, что возбуждаемая в плазме турбулентность уменьшает продольную электронную теплопроводность более чем на три порядка величины. Кроме того, было установлено, что передача энергии от электронов плазмы к ионам происходит гораздо быстрее, чем за кулоновские времена. Наиболее вероятный механизм такого быстрого нагрева ионов, базирующийся на результатах измерений, также основан на возбуждении в плазме флуктуаций плотности электронов. Всё это делает чрезвычайно актуальным диагностику флуктуаций плотности плазмы на многопробочной открытой ловушке ГОЛ-3.

Крупномасштабные изменения плотности плазмы, возникающие в ходе её нагрева релятивистским электронным пучком, были зарегистрированы ранее на установке ГОЛ-3 при помощи многоканальной системы томсоновского рассеяния. Эти измерения проводились от выстрела к выстрелу и позволили предположить наличие флуктуаций плотности по совокупности большого числа выстрелов. После мо-

дернизации системы томсоновского рассеяния, проведенной в 2010 году, стало возможным проводить два измерения в течение одного эксперимента. Для этого в лазере было установлено два задающих генератора импульсов (неодимовое стекло) $\lambda = 1054$ нм, задержка срабатывания между которыми варьировалась от 60 до 150 нс. В результате лазер генерировал два импульса с энергией 10–20 Дж и длительностью 20–40 нс.

В отчетном периоде система сбора рассеянного лазерного излучения была модифицирована для регистрации профиля плотности плазмы. Измерения проводились в 8 точках по диаметру плазменного столба с охватом 90 мм, что полностью перекрывает сечение плазмы.

В данной серии экспериментов основное внимание было уделено быстрой динамике плотности в предварительной плазме и во время инъекции электронного пучка. В результате были обнаружены и исследованы быстрые (60–90 нс) флуктуации плотности плазмы. Типичные профили плотности с быстрой динамикой в локальных вдоль каустики точках и без неё показаны соответственно на рис. 4.2.1.

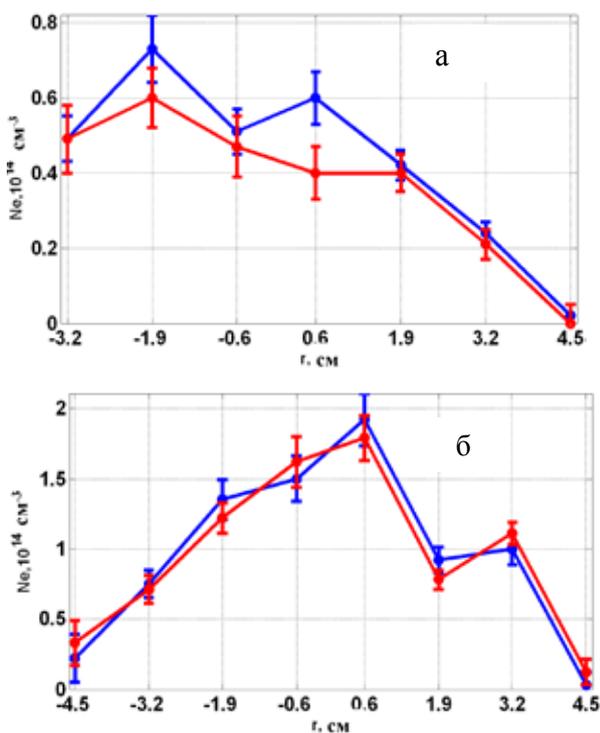


Рис. 4.2.1. а) профиль плотности плазмы с быстрой динамикой в области -1,9 см и 0,6 см; б) случай отсутствия флуктуаций.

Анализ полученных данных совместно с проведенным моделированием амплитуд сигналов рассеяния с высокой степенью достоверности свидетельствуют о возникновении случайных локальных флуктуаций плотности.

Целью дальнейших разрабатываемых экспериментов является уточнение механизмов наблюдаемой локальных флуктуаций плотности

плазмы. Такое поведение профиля плотности может быть прямым следствием сильной ленгмюровской турбулентности (волновой коллапс), или может быть связано с неравномерным нагревом плазмы вследствие филаментации мощного электронного пучка. Также локальная динамика плотности плазмы может свидетельствовать о действии механизма быстрого нагрева ионов, вызванным релаксацией потоков перегретой плазмы из магнитных пробок локального пробкотрона.

4.2.3 Изучение субтерагерцового излучения плазмы

Передача энергии от пучка к плазме в ходе ее нагрева базируется на пучковой накачке сильной ленгмюровской турбулентности, которая приводит к поглощению энергии плазменных колебаний электронами плазмы и к подавлению электронной теплопроводности вдоль магнитного поля. В то же время высокая плотность энергии плазменных колебаний приводит также к генерации в ней электромагнитного излучения в широком диапазоне частот, простирающемся от области ленгмюровской частоты до удвоенного ее значения. Возможность такой генерации предсказывалась в середине прошлого века рядом авторов теоретических работ и наблюдается в астрофизических явлениях. Таким образом, изучая структуру и динамику спектра эмиссии излучения из плазмы, можно получать информацию о взаимодействии между пучком и плазмой, а также о процессах, сопровождающих релаксацию электронного пучка в плазме.

Для регистрации мощности и спектра излучения в окрестности двойной плазменной частоты в 2009-2010 годах были разработаны радиометрические диагностики с квазиоптическими элементами на основе анизотропных селективных поверхностей. С помощью данных диагностик было получено, что регистрируемое электромагнитное излучение присутствует только на стадии интенсивного нагрева плазмы электронным пучком. Данное обстоятельство свидетельствовало о том, что генерация регистрируемого электромагнитного излучения не связана непосредственно с циклотронным движением электронов, а является плазменным процессом.

В 2011 году на многопробочной ловушке ГОЛ-3 продолжались эксперименты по изучению эмиссии электромагнитного излучения из плазмы во время инъекции релятивистского электронного пучка. Излучение регистрировалось с помощью четырехканальной спектрально-селективной квазиоптической системы, а также широкополосных детекторов и калориметра. Для разрешения по спектру как в области плазменной, так и двойной плазмен-

ной частот четырехканальная спектроскопическая система была оснащена новыми квазиоптическими элементами на основе изотропных селективных поверхностей. Фильтрующие элементы имели полосу пропускания 10% на полувысоте с подавлением внеполосового сигнала до 60 дБ. В экспериментах изучались пространственные закономерности излучения (см. рис.4.2.2) и спектральная плотность излучения (рис. 4.2.3 и рис.4.2.4). В условиях экспериментов при плотности плазмы $(1,5 \div 3) \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ линейная плазменная частота находится в диапазоне 120–170 ГГц. Поэтому зависимость от продольной координаты измерялась с помощью отдельных широкополосных подвижных детекторов, настроенных на первую и вторую гармонику плазменной частоты. Как видно, аксиальное распределение излучения вблизи ω_p и $2\omega_p$ имеет максимум вблизи от точки инжекции пучка в плазму. Максимальная измеренная мощность излучения в экспериментах на плазменной частоте достигала $\sim 5 \text{ кВт/см}^2$, на удвоенной плазменной частоте $\sim 1 \text{ кВт/см}^2$ (координата $z = 83 \text{ см}$). В предположении, что генерация излучения вблизи удвоенной плазменной частоты происходит за счет слияния двух плазмонов, такая мощность может возникать при температуре электронов плазмы $\sim 1 \text{ кэВ}$ и плотности энергии ленгмюровских колебаний на уровне $W/nT \sim 0,1$, что согласуется с предыдущими исследованиями нагрева плазмы с помощью релятивистских электронных пучков. Эти исследования имеют значение не только для развития исследований в области термоядерного синтеза, но также и для моделирования астрофизических явлений, в частности, в солнечной короне.

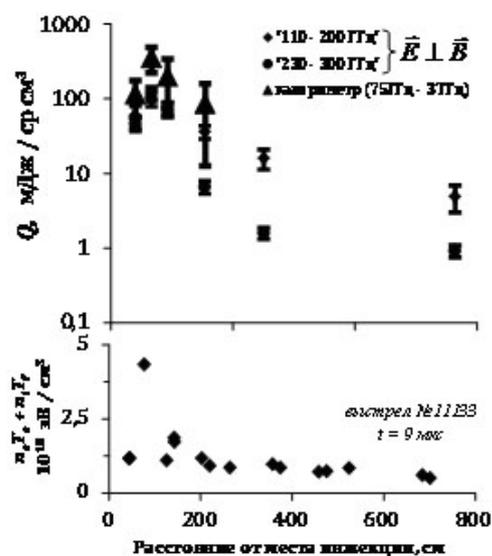


Рис. 4.2.2. Распределение излучённой за импульс энергии субтерагерцового излучения (вверху) и давления плазмы (внизу) вдоль установки в течение нагрева плазмы релятивистским электронным пучком на установке ГОЛ-3.

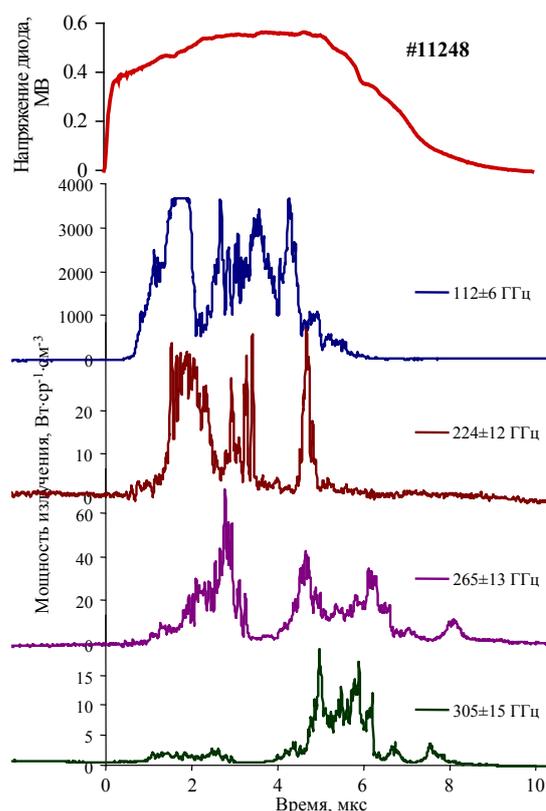


Рис. 4.2.3. Динамика мощности излучения плазмы в разных спектральных диапазонах.

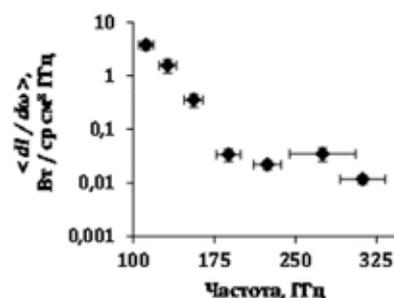


Рис. 4.2.4. Усреднённый по длительности импульса спектр субтерагерцового излучения из установки ГОЛ-3 при плотности плазмы $(1,5 \div 3) \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$.

4.2.4 Изучение азимутального вращения плазмы

Магнитная активность плазмы изучалась при помощи многоканальной системы компактных датчиков, регистрирующих азимутальную компоненту магнитного поля и расположенных в центральной секции вакуумной камеры. В силу замороженности плазмы в магнитное поле такие измерения дают информацию о колебаниях условной поверхности плазмы.

Обнаружена сложная азимутальная структура профиля тока с преобладанием 1, 2 и 4 азимутальных пространственных мод. Доминирующей является мода $m = 1$, амплитуда которой не превышает 2 мм. Эта мода соответствует смещению плазменного столба как целого от

оси камеры. Высокий уровень первой пространственной моды при достаточной симметрии видимого излучения плазмы в процессе её нагрева электронным пучком позволяет предположить преобразование исходной коаксиальной структуры токов в винтовую в процессе развития тиринг-неустойчивости, предсказываемой ранее при численном моделировании. Установлено наличие эволюции пространственной структуры к более высоким модам, то есть, филаментация токов в плазме, с характерным временем 3-4 мкс (рис.4.2.5).

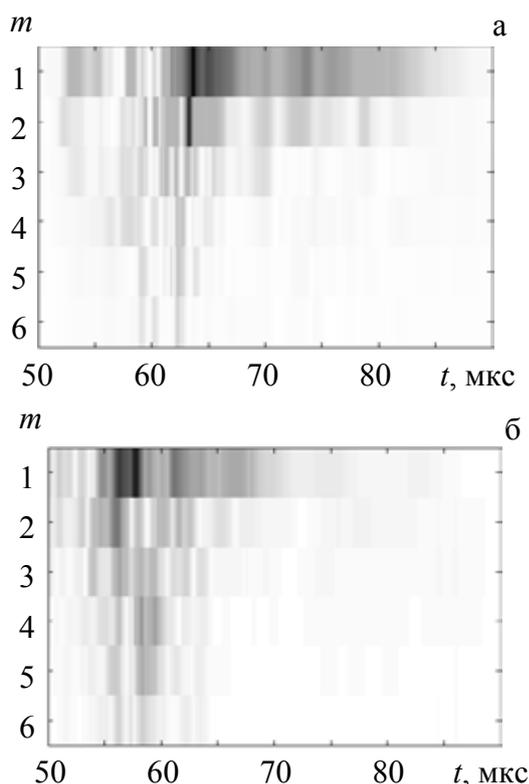


Рис. 4.2.5. Характерный модовый состав колебаний для выстрелов PL10630 (а) и PL10647 (б), отличающихся начальной плотностью плазмы. Степень почернения отражает амплитуду данной моды в данный момент времени. Начало инжекции электронного пучка соответствует $t = 50$ мкс. Во время инжекции пучка (интервал 50-60 мкс) заметно смещение модового спектра в сторону более высоких пространственных частот.

Выявлено вращение плазмы с угловой скоростью до $\omega \sim 10^6 \text{ с}^{-1}$, вызванное дрейфом в скрещенных полях при потенциале плазмы до ~ 1 кВ (рис.4.2.6). В дальнейшем на стадии удержания плазмы вращение замедляется до $\omega < 10^5 \div 10^4 \text{ с}^{-1}$. Скорость вращения периферии плазмы, определённая по оптическому излучению, остаётся постоянной и равной $\omega \sim 10^5 \text{ с}^{-1}$ для большинства экспериментов. Таким образом, во время и непосредственно после инжекции релятивистского электронного пучка возможно сдвиговое

вращение плазмы, характеризующееся относительным смещением различных слоёв на угол до 4π .

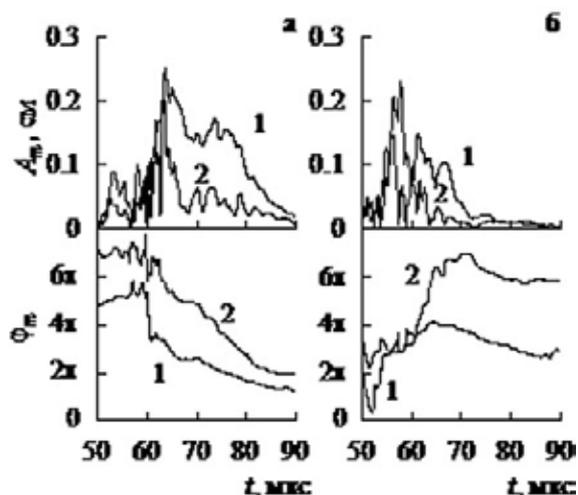


Рис. 4.2.6. Амплитуда A_m и фаза ϕ_m азимутальных мод возмущений токовой поверхности для выстрелов PL10630 (а) и PL10647 (б). Цифрами обозначены кривые, относящиеся к первой (1) и второй (2) азимутальным модам. Кривые для фазы мод $m = 1$ и $m = 2$ смещены на один оборот (2π радиан) для лучшей читаемости рисунка.

Выдвинуто объяснение упомянутых явлений на основе теории пересоединения магнитных силовых линий; прослежена аналогия с механизмами магнитного динамо в астрофизике. Для параметров ГОЛ-3 филаментация токовых слоёв за счёт перезамыкания по теоретической оценке начинается при $t \sim 3$ мкс для частоты вращения $\sim 10^6 \text{ с}^{-1}$, что хорошо согласуется с наблюдаемым временем нарастания номера наблюдаемых мод. Указанное предположение хорошо согласуется с наблюдавшейся ранее импульсной магнитной активностью на стадии остывания плазмы.

4.2.5 Интерферометр на базе CO_2 -лазера

Интерферометрия является традиционным методом измерения плотности плазмы в исследованиях по УТС. Её методы постоянно совершенствуются с учетом параметров проводимых экспериментов, определяющими из которых являются, с одной стороны, плотность плазмы, ее динамика и размеры, а с другой – спектр вибраций конструктивных элементов установки. С момента создания ГОЛ-3 и до настоящего времени на установке используется двухпроходная схема интерферометра Майкельсона.

С целью повышения временного разрешения и увеличения чувствительности метода в настоящее время интерферометры существен-

но модернизированы. В качестве источника излучения в них используются CO_2 лазеры ($\lambda = 10,6$ мкм), а регистрируются интерферограммы разработанными в ИФП СО РАН быстрыми (~ 1 нс) HgCdTe детекторами. Схема интерферометра показана на рис. 4.2.7. Ключевыми элементами CO_2 интерферометра являются калибровка и дистанционное управления начальной фазой, что достигается с помощью подвижного зеркала в опорном плече. В настоящее время на установке работают два интерферометра. В качестве примера на рис.4.2.8. показаны интерферограммы плотности, полученные этими интерферометрами при установке в них разной начальной фазы.

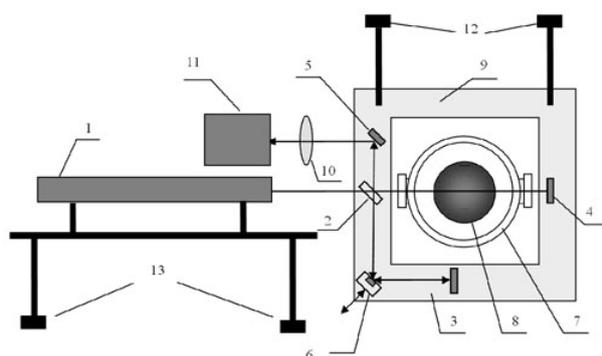


Рис. 4.2.7. Принципиальная схема интерферометра. Цифрами обозначены: 1 - CO_2 лазер, 2 - светоделительная пластинка из BaF_2 , 3-5 - зеркала, 6 - подвижное зеркало на пьезокерамике, 7 - плазменная камера с окнами из ZnSe , 8 - плазма; 9 - диэлектрическая станина, 10 - линза из BaF_2 , 11 - HgCdTe - фотодиод, 12 - подвеска станины, 13 - опоры лазера.

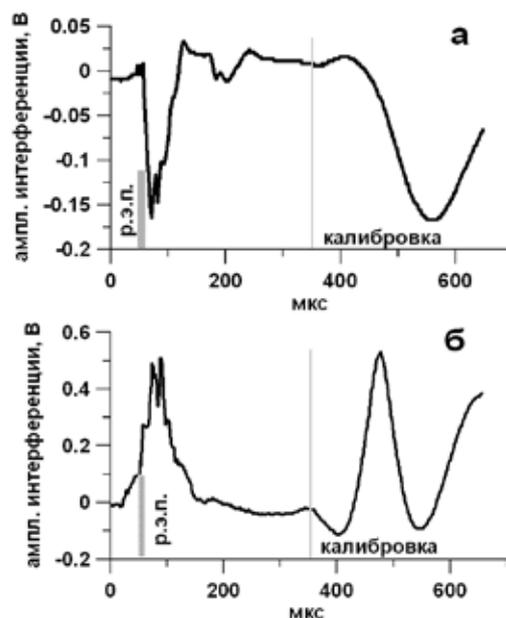


Рис. 4.2.8. Типичные интерферограммы, отражающие поведение плотности плазмы в двух сечениях гофрированной ловушки: а) $z = 0.8$ м; б) $z = 9$ м.

4.2.6 Анализатор нейтралов перезарядки

Для исследования популяции быстрых ионов в плазме установки ГОЛ-3 разработан анализатор нейтралов оригинальной конструкции (рис.4.2.9), позволяющий существенно расширить возможности диагностики плазмы по измерениям потоков нейтралов перезарядки. Разработанный анализатор может проводить измерения в широком диапазоне энергий – от сотен эВ для регистрации тепловой компоненты плазмы до десятков кэВ для изучения популяции быстрых ионов, высокоэнергетичных ионов и так далее. Кроме того, анализатор способен разделять атомы водорода и дейтерия, что открывает возможности для постановки специальных экспериментов по исследованию эффективности газонапуска, продольного переноса, влияния величины ларморовского радиуса ионов на удержание плазмы.

Основными частями анализатора являются вакуумный корпус, обдирочная мишень с электростатической линзой, магнит-сепаратор, конденсатор, детекторы ионов и калибровочный источник. Магнит-сепаратор представляет собой С-образное ярмо с постоянными магнитами NdFeB и профилированными полюсами. Габаритные размеры магнита $130 \times 90 \times 100$ мм. Специальной формой полюсов достигается фокусировка ионов как по вертикали, так и по горизонтали в места установки детекторов.

После магнита ионы попадают в электростатическое поле конденсатора, служащее для разделения ионов по массе. Расстояние между пластинами 15 мм, рабочее напряжение 8 кВ. Форма пластин была рассчитана так, чтобы углы наклона траекторий ионов после прохождения через конденсатор были равны во всем рабочем диапазоне. Анализатор оснащен миниатюрным источником ионов, позволяющим проводить in-situ калибровку энергий и чувствительностей каналов регистрации.

Для регистрации частиц в анализаторе применены каналные вторично-эмиссионные преобразователи, позволяющие работать как в токовом, так и в счетном режиме и обеспечивающие временное разрешение системы до 10 мкс.

Было изготовлено два анализатора, один из которых сейчас установлен на установке MST (University of Wisconsin in Madison, USA), а второй – на установке C-2 (Tri Alpha Company, San Diego, USA). На рис. 4.2.10 приведен пример измерения динамики популяции быстрых ионов в плазме установки MST. Система нейтральной инжекции установки формирует в плазме популяцию быстрых ионов с энергиями до $E_{inj} = 23,4$ кэВ. После окончания инжекции быстрые ионы замедляются в плазме и высокоэнергетичный край функции распределения смещается к более низким энергиям. Быстрые ионы с энергией

ниже 10 кэВ быстро теряются и не удерживаются в плазме. Пересоединения магнитных линий (пунктирные линии на рис.4.2.10) вызывают сильное перераспределение плазмы и приводят к частичной или полной потере популяции быстрых ионов. Измерение функции распределения позволило оценить время удержания быстрых ионов в плазме, которое находится в согласии с результатами моделирования динамики ионов методом Монте-Карло.



Рис. 4.2.9. Анализатор быстрых атомов перезарядки.

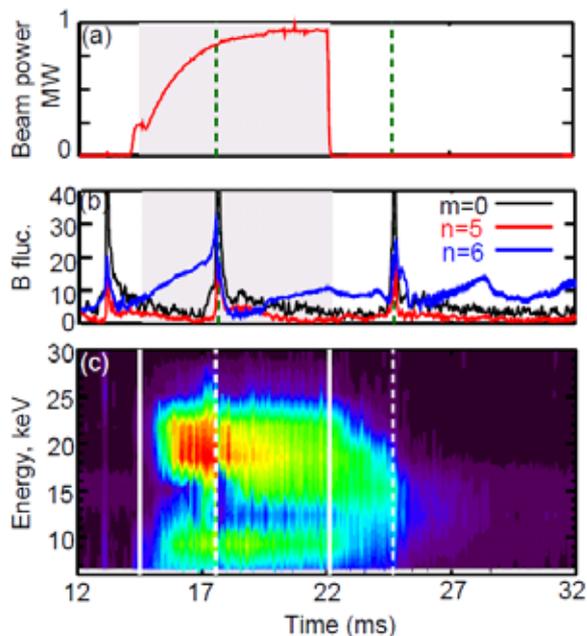


Рис.4.2.10. Динамика популяции быстрых ионов на установке MST. а – мощность пучка нейтралов; б - флуктуации магнитного поля с $m = 0$, и $m = 1$, $n = 5,6$ тиринг-модами; с – сигналы анализатора с 10 водородных каналов. Две пунктирные линии отмечают два момента времени с сильным магнитным пересоединением.

4.2.7 Компактный детектор нейтронов с цифровой n-γ дискриминацией

При экспериментальном исследовании параметров ионной компоненты горячей плазмы возникает задача эффективной регистрации нейтронов при надежной дискриминации гамма-излучения. Для этой цели применяются детекторы на основе органических сцинтилляторов, в которых форма сцинтилляционного импульса зависит от типа быстрой частицы, попавшей в сцинтиллятор. Разработан однокристалльный спектрометр быстрых нейтронов для регистрации длительной эмиссии нейтронов из плазмы с субтермоядерными параметрами на основе регистратора ADC 12500 с частотой дискретизации 500 МГц и точностью 12 бит, с возможностью их обработки в режиме реального времени с помощью встроенной быстродействующей логической матрицы.

Основной задачей диагностики является непрерывная регистрация интенсивного потока быстрых нейтронов с энергиями 1–15 МэВ и дискриминацией гамма-квантов по форме импульса с обработкой наложенных событий. Отличием разработанного метода от традиционных решений с аналоговыми цепями n-γ дискриминации является использование вычислительных мощностей встроенного узла потоковой обработки данных на основе FPGA, функционирующего в режиме реального времени. С его помощью производится анализ формы каждого отдельного сцинтилляционного импульса, результатом которого является величина его «быстрой» и «медленной» компоненты, а также время прихода после запуска. Поточковая обработка сцинтилляционных импульсов позволяет на два порядка увеличить время непрерывной регистрации при неизменном объеме памяти на борту прибора, и снизить требования к пропускной способности линии связи с компьютером оператора диагностики. Благодаря возможности изменять собственное программное обеспечение микроконтроллера, диагностика на его основе может быть гибко и оперативно настроена под очень широкий круг задач. В частности, такая диагностика была использоваться для определения формы нейтронного импульса скважинного нейтронного генератора в стробоскопическом режиме. Электроника для детектора разработана и изготовлена в ИЯФ СО РАН.

Результаты калибровки нейтронного детектора с помощью радионуклидного источника ^{252}Cf , а также источника моноэнергетических нейтронов на основе дейтериевой ускорительной трубки показали, что наблюдается уверенная дискриминация гамма-квантов, начиная от порога энергии нейтронов 0,3 МэВ, а энергетическое разрешение составляет менее 10% для энергии нейтронов 2,45 МэВ – см. рис. 4.2.11.

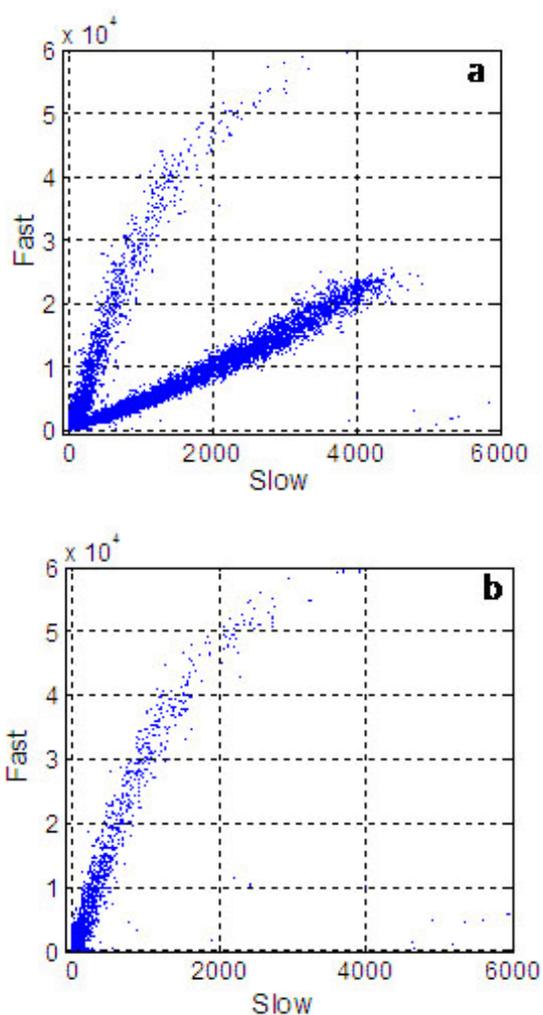


Рис. 4.2.11. Достигнутое качество разделения нейтронов и гамма-квантов по форме импульса сцинтилляции в измерениях на импульсном нейтронном генераторе D-D нейтронов (2,45 МэВ). По осям отложены быстрая (fast) и медленная (slow) компоненты импульса, точки соответствуют отдельным частицам. Данные а) относятся к измерениям во время работы генератора; видны две ветви, из которых нижняя соответствует нейтронам, а верхняя – гамма-квантам. Данные б) для измерений между импульсами, когда остаются только гамма-кванты от наведённой радиоактивности.

4.2.8 Развитие методов моделирования диодных систем с плазменными электродами

В 2011 году продолжалось развитие методов численного моделирования систем с эмитирующими открытыми плазменными границами. Для проектирования источников мощных электронных пучков, предназначенных для нагрева плазмы в открытых магнитных ловушках до термоядерных температур, необходимо учи-

тывать воздействие мощного потока плазмы из ловушки на источник пучка и его электронно-оптические характеристики. Ранее для моделирования диодов с плазменными электродами были разработаны алгоритмы по вычислению формы плазменных границ в приближении низкотемпературной однородной эмиссии с их поверхности. Для учета воздействия теплового и направленного движения потока плазмы на характеристики диода решена задача распределения потенциала в зазоре между катодной и анодной плазмой и результаты применены в вычислительном коде POISSON-2 для моделирования формирования пучков в системах с плазменными эмиттерами. В модели также учитывается диафрагмирование эмиссионных потоков апертурами катода и анода, приводящее к неоднородности эмиссии по поверхности плазмы. В осесимметричном приближении проведено моделирование формирования одиночной струи электронного пучка из отдельной катодной апертуры мультиапертурного источника на основе плазменного катода. Определены условия формирования электронного пучка в источнике с проектными параметрами 100 кВ, 1 кА, 100 мксек и более, с характеристиками, допускающими компрессию пучка ведущим магнитным полем в 100 и более раз – см. рис. 4.2.12. При численном моделировании работы диода в условиях облучения его налетающей плазмой получено полное прохождение потоков частиц, ускоренных в диодном зазоре, через катодные и анодные апертуры без их попадания на металлические поверхности диода. Как показали ранние эксперименты, токоосаждение на поверхностях диода является одной из причин ограничения длительности его работы.

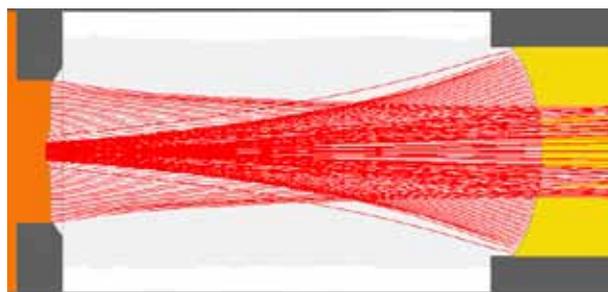


Рис. 4.2.12. Моделирование формирования электронного пучка в одной апертуре диода: слева – катод с катодной плазмой, справа – анод с потоком плазмы. Диаметр катодных апертур 3 мм, анодных – 4,4 мм. Расстояние между электродами 12 мм, напряжение 100 кВ, средняя по апертуре катода плотность тока 63 А/см², анода ~1 А/см², ток диода ~1,1 кА. Максимальный питч-угол электронов ~ 0,07 рад. Магнитное поле 0,05 Тл.

Следующим шагом предполагается дальнейшее развитие численной модели с включе-

нием в нее учета процессов ударной ионизации рабочего и остаточного газа в диодном зазоре и исследование влияния вида функции распределения электронов катодной плазмы и ионов анодной плазмы на оптику диода.

4.2.9 Транспортировка интенсивного электронного пучка субмиллисекундной длительности в магнитном поле пробочной конфигурации

В существующей схеме нагрева плазмы в открытой ловушке мощным длинным импульсным электронным пучком предусматривается расположение инжектора пучка в области выходного расширителя с магнитным полем $B_{out} \sim 0,1$ Тл или меньше. Сформированный в этом поле пучок далее транспортируется в камеру ловушки с полем $B_{in} \sim 5$ Тл. Таким образом, при инжекции в плазму пучок должен проходить сквозь магнитную пробку с отношением $R = B_{in}/B_{out}$, что накладывает соответствующие ограничения на стартовые угловые характеристики пучка. В 2011 году, в рамках программы по нагреву плазмы субмиллисекундным электронным пучком в ГОЛ-3, был выполнен цикл экспериментов по исследованию возможности транспортировки сквозь магнитную пробку с $R \approx 50$ интенсивного пучка, полученного в источнике с плазменным эмиттером и многоапертурной диодной электронно-оптической системой (ЭОС).

Работа проводилась на специальном стенде с источником пучка, по конструкции принципиально не отличавшемся от источника, установленного на ГОЛ-3, при ускоряющем напряжении

32 кВ. Длительность импульса (ограниченная возможностями высоковольтного модулятора) составляла около 0,25 мс. Схема стендового эксперимента показана на рис. 4.2.13. Магнитное поле в тракте пучка формировалось двумя катушками: основной, расположенной в районе ЭОС, и катушкой сильного поля (КСП), создающей магнитную пробку. Ток электронов, прошедших через пробку, измерялся цилиндром Фарадея. Кроме того, измерялся ток эмиссии пучка (ток в цепи ускоряющего напряжения) и ток осаждения на анодный электрод диода. В сравнении с предыдущими экспериментами на стенде, в конструкцию ЭОС были внесены изменения: диаметр катодных отверстий был уменьшен относительно диаметра анодных (2,4 мм и 4,0 мм, соответственно); диодный зазор был увеличен до 7 мм, с целью улучшения оптики пучка в элементарной апертуре; общее количество апертур было увеличено до 121 (см. рис. 4.2.14).



Рис. 4.2.14. Многоапертурная диодная ЭОС, вид со стороны анода (труба дрейфа отсутствует).

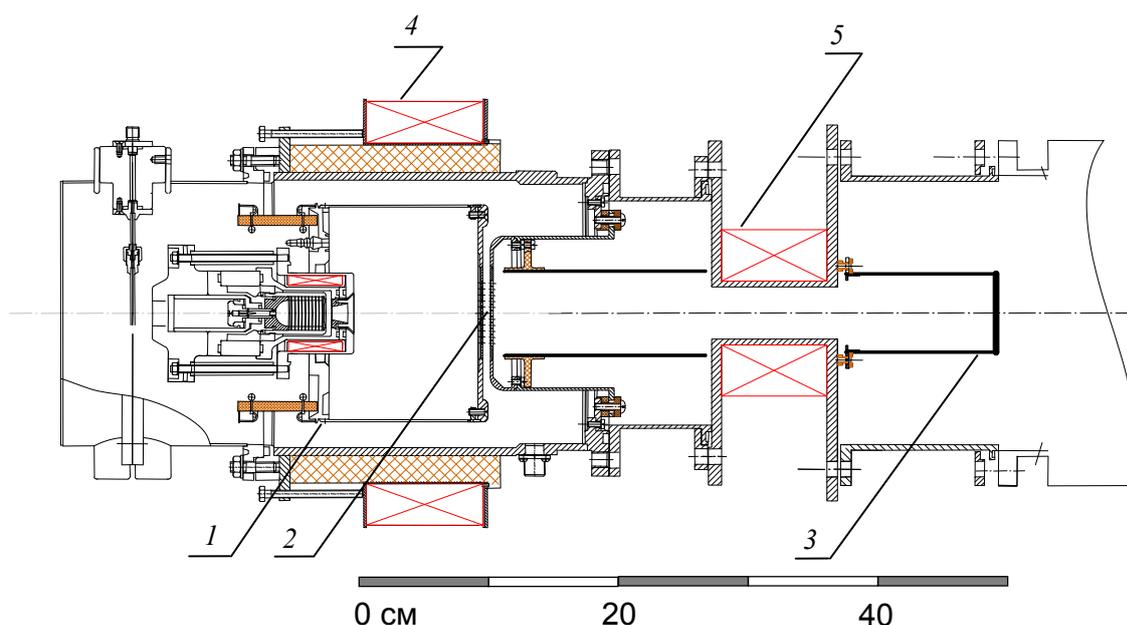


Рис. 4.2.13. Схема эксперимента: 1 - плазменный эмиттер; 2 – многоапертурная ЭОС; 3 - цилиндр Фарадея; 4,5 - катушки магнитного поля.

По сценарию эксперимента, в области ЭОС формировалось квазиоднородное магнитное поле величиной 0,02 – 0,04 Тл, поле же КСП менялось от импульса к импульсу. Соответственно величина пробочного отношения также изменялась в пределах от 5 до 70. Прошедший через магнитную пробку ток регистрировался цилиндром Фарадея, при этом часть электронов пучка с большими питч-углами отражалась от пробки назад и регистрировалась как добавочный ток осаждения пучка на анодный электрод. Сумма тока на цилиндр Фарадея и тока осаждения на анод с хорошей точностью соответствовала току эмиссии пучка. По мере увеличения пробочного отношения наблюдался быстрый рост тока осаждения на анод, что приводило, в конце концов, к сокращению длительности рабочего импульса пучка (диод закорачивался). Типичная картина поведения токов в зависимости от величины R при величине магнитного поля в районе ЭОС 0,025 Тл показана на рис.4.2.15.

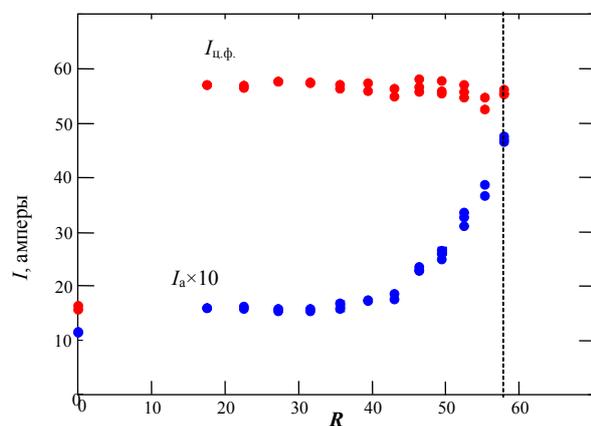


Рис. 4.2.15. Ток на цилиндр Фарадея и ток осаждения на анодный электрод (показан умноженным на 10) в зависимости от пробочного отношения R .

В результате экспериментов было продемонстрировано, что электронный пучок, полученный в многоапертурном диоде с дуговым плазменным катодом при ускоряющем напряжении $U = 32$ кэВ, с током эмиссии $I_e \approx 60$ А и длительностью импульса 0,25 мс, транспортируется в нарастающем магнитном поле, практически без потерь, сквозь магнитную пробку с отношением $R > 50$.

4.2.10 Заключение

На установке ГОЛ-3 продолжают эксперименты, направленные на создание физической базы знаний, необходимой для сооружения термоядерного реактора на базе открытой ловушки. Производится улучшение качества получаемой информации как за счёт ввода в строй новых диагностических методик, так и за счёт проведения специализированных экспериментов. Развиваются новые технологии нагрева плазмы, которые позволят увеличить её параметры. Проводились также прикладные исследования по различным направлениям.

4.3 Теория плазмы

4.3.1 Заряженная плазма

Важными задачами теории заряженной плазмы являются изучение различных режимов транспорта плазмы и описание свойств возможных колебательных мод.

В работе [Yu.A. Tsidulko, T.J. Hilsabeck, and T.M. O'Neil, *Physics of Plasmas*, 18, 084505 (2011)] построена теория диокотронных мод на запертых частицах (TPDM), которая, в отличие от предыдущей теории, последовательным образом учитывает столкновительный и бесстолкновительный обмен частицами между классами пролетных и запертых частиц. Получено исправленное уравнение для TPDM возмущений, показывающее, в частности, отсутствие “быстрых” мод, существование которых следовало из предыдущей теории.

В некоторых режимах неоклассического транспорта заряженной и квазинейтральной плазмы основную роль играют частицы, двигающиеся по “супер-банановым” орбитам, содержащим участки, где динамика частиц близка к динамике запертых частиц, и участки, где динамика близка к динамике пролетных. В типичном для заряженной плазмы случае такие орбиты возникают из-за внешних возмущений полей, нарушающих аксиальную симметрию сепаратрисы, разделяющей пролетные и захваченные частицы. В работах [D.H.E. Dubin, C.F. Driscoll, and Yu.A. Tsidulko, *Phys.Rev.Lett.*, 105, 185003 (2010); D.H.E. Dubin, Yu.A. Tsidulko, *Physics of Plasmas*, 18, 062114 (2011)] представлена теория, описывающая режимы повышенного переноса заряженной плазмы, вызванного нарушением симметрии сепаратрисы. В частности, исследован режим плато, в котором диффузия и эффективная подвижность частиц не зависят от частоты столкновений. Такой режим реализуется, когда столкновительное изменение энергии частиц за время азимутального дрейфа пренебрежимо мало, но при этом частота столкновений достаточно велика для релаксации функции распределения на участках орбит, где динамика близка к динамике пролетных. Также рассмотрено влияние нарушения симметрии сепаратрисы на скорость затухания диокотронных мод на захваченных частицах. В работе [A.A. Kabantsev, D.H.E. Dubin, C.F. Driscoll, and Yu.A. Tsidulko, *Phys.Rev.Lett.*, 105, 205001 (2010)] представлена экспериментальная проверка теории. Результаты теории могут быть важными и для задач удержания квазинейтральной плазмы, в частности, в стеллараторах.

4.3.2 Теория взаимодействия плазмы с поверхностью

В 2011 году в институте закончены теоретические исследования распределения по размерам пылевых частиц, образующихся при хрупком разрушении, в предположении самоподобия дробления. Показано, что по показателю распределения можно определить тип разрушения, а именно является ли оно поверхностным или объёмным.

В 2011 году начаты теоретические исследования упругих напряжений, возникающих при неоднородном нагреве твёрдого тела. Эти напряжения приводят к появлению крупномасштабных трещин и образованию пылевых частиц.

4.3.3 Теория плазменного кильватерного ускорения

Плазменное кильватерное ускорение с протонным драйвером было недавно предложено как путь к генерации электронных пучков высокой энергии.

В поиске возможностей для проверки этой схемы были рассмотрены разные варианты демонстрационных экспериментов с пучком синхротрона PS в ЦЕРНе. Проанализирована возможность магнитной компрессии пучка и возникающие при этом в плазме электрические поля. Исследована самомодуляция протонного пучка в плазме различной плотности и длины. Обнаружено, что последняя возможность представляет интерес в качестве первого эксперимента.

Пучок частиц высокой энергии, распространяющийся в однородной плазме, подвержен поперечной двухпоточковой неустойчивости, которая сначала разбивает пучок на последовательность микросгустков, а затем разрушает эти сгустки поперечной компонентой кильватерного поля. При помощи правильной продольной неоднородности плотности плазмы можно остановить развитие неустойчивости на стадии микросгустков и тем самым создать последовательность микросгустков, способную резонансным образом раскачивать кильватерное поле в плазме большой длины.

Показано, что на характеристики плазменного кильватерного ускорителя с самомодулирующимся протонным драйвером сильно влияет уменьшение фазовой скорости плазменной волны. При помощи аналитической теории и моделирования методом частиц в ячейке показано, что это уменьшение максимально на линейной стадии самомодуляции. По мере выхода

неустойчивости на нелинейное насыщение фазовая скорость приближается к скорости драйвера. Пагубное влияние динамики волны на максимальный набор энергии ускоряемых электронов можно избежать либо боковой инъекцией электронов, либо контролем фазовой скорости кильватерной волны при помощи плавных градиентов плотности плазмы.

Исследовано, какие амплитуды кильватерной волны достижимы при модуляции длинного протонного пучка. Обнаружено, что если длина сгустка велика по сравнению с длиной плазменной волны, то напряженность ускоряющего поля прямо пропорциональна числу частиц в сгустке и обратно пропорциональна квадрату поперечного размера сгустка. Скейлинги проверены и подтверждаются детальным моделированием при параметрах, соответствующих действующим протонным ускорителям. Достигнуты большие электрические поля, до 1 ГВ/м в случае сгустков ЛНС. Набор энергии пробных электронов при этом превосходит 8 ТэВ.

Сформулирована и изучена унифицированная модель проникновения электронов в линейную кильватерную волну. Найден оптимальный угол для боковой инъекции электронов. При меньших углах электроны отражаются в радиальном направлении. При больших углах электроны входят в волну с избыточным поперечным импульсом, что не благоприятно для их

захвата. Разделение электронов на прошедшие в волну и отраженные происходит во внешней области кильватерной волны на некотором радиусе «отражения», который зависит от энергии электронов.

Новый эксперимент по плазменному кильватерному ускорению, мотивированный огромным энергозапасом протонных сгустков в коллайдерах, планируется в ЦЕРНе. Первые эксперименты будут использовать длинный (12 см) протонный сгусток синхротрона SPS (450 ГэВ). Кильватерное поле появится в результате модуляции протонного пучка поперечной двухпоточковой неустойчивостью. Численное моделирование показывает, что пиковое ускоряющее поле будет превышать 100 МВ/м. Кильватерная волна будет диагностироваться электронным сгустком низкой энергии (~ 10 МэВ). Плазма будет иметь длину 5-10 метров с плотностью электронов около 7^{14} частиц в кубическом сантиметре. Исследуются различные методы затравки неустойчивости: усеченный пучок с резким передним фронтом, электронный предвестник, короткий лазерный импульс для быстрой ионизации плазмы. Разрабатывается диагностика для измерения модуляции тока пучка, набора энергии электронов и собственно кильватерного поля. Перспективная цель состоит в ускорении электронного сгустка с энергии в несколько ГэВ до 500 ГэВ и более в единой плазменной секции.

4.4 Инжекторы пучков быстрых атомов и ионов

4.4.1 Инжекторы пучков быстрых атомов

Для нагрева плазмы в токамаке COMPASS-D (Институт физики плазмы, Прага, Чехия) были запущены и выведены на расчетные параметры два нагревных инжектора с энергией атомов водорода 40 кэВ, длительностью импульса 300 мс. Мощность нейтрального пучка каждого из инжекторов – 0.3 МВт. Ионные источники инжекторов изготовлены на базе ВЧ-разрядных эмиттеров плазмы.

Для ускорительного комплекса RHIC (Брукхэвенская национальная лаборатория, США) запущены два источника атомарных пучков с энергией частиц до 10 кэВ, током до 4,5 А, длительностью импульса 0,5 мс, работающие с частотой 1 Гц. Вследствие требуемой высокой плотности тока пучка и его малой угловой расходимости, система формирования была собрана из молибденовых сеток толщиной 0,4 мм с высокой точностью юстировки. Источники изготовлены на базе дуговых генераторов плазмы с током разряда до 600 А.

4.4.2 Разработка мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода

Продолжаются работы по проекту мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода с энергией атомов 500-1000 кэВ на основе отрицательных ионов. Завершается детальное конструирование основных элементов инжектора. Ведется изготовление прототипа источника отрицательных ионов водорода. Выполняется подготовка экспериментального стенда для ускорения пучка отрицательных ионов водорода с током ~5 А до энергии 120 кэВ.

5
Установки
со встречными
электрон-позитронными
пучками

5.1 Работа ВЭПП-2000 в режиме круглых пучков

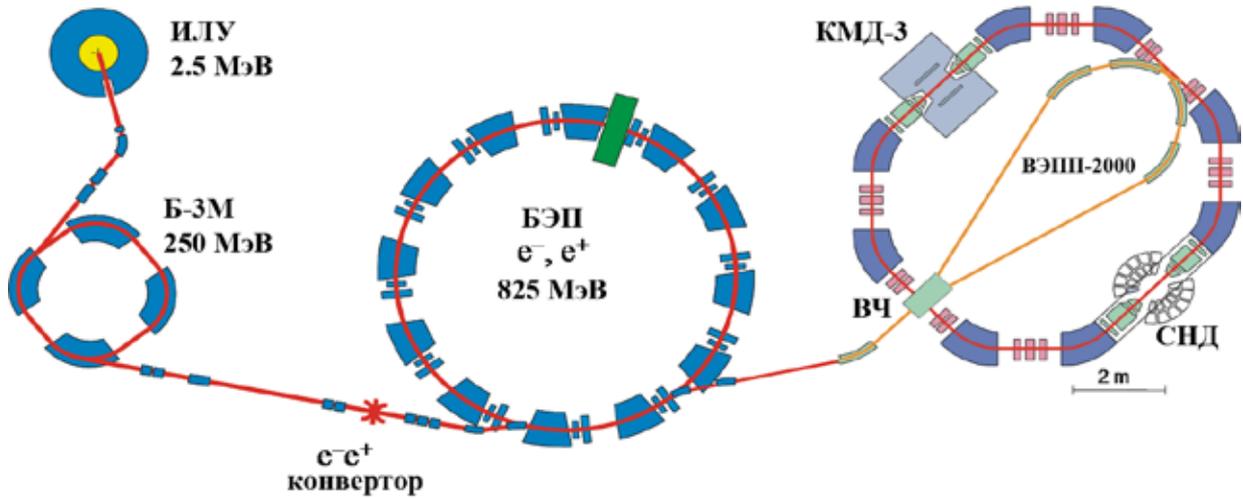


Рис. 5.1.1 Схема комплекса ВЭПП-2000.

Кратко напомним схему и принцип работы ВЭПП-2000 (см. Рис.5.1.1). Комплекс состоит из инжекционной части (ИЛУ–Б 3М), бустера БЭП (максимальная энергия подъема пучка в настоящий момент составляет 825 МэВ) и кольца ВЭПП-2000 (в двух местах встречи установлены детекторы СНД и КМД-3, фокусировка пучков осуществляется сверхпроводящими соленоидами). Основное кольцо работает в режиме круглых пучков, что предполагает соблюдение следующих условий:

1. сохранение углового момента $M_y = x'z - xz'$
2. малые и равные β - функции в месте встречи $\beta_x^* = \beta_z^*$
3. равные эмиттансы двух мод $\varepsilon_x = \varepsilon_z$
4. равные бетатронные частоты $\nu_x = \nu_z$
5. малые дробные части бетатронных частот, выше целого резонанса $\{v\} = 0,1$

При изменении энергии ВЭПП-2000 в широких пределах в течение длительного времени работы неизбежно возникает необходимость коррекции равновесной орбиты частиц и настройки магнитно-оптической системы накопителя. Для ВЭПП-2000 это особенно актуально, учитывая работу магнитов при сильном насыщении. Главной задачей при коррекции замкнутой орбиты (ЗО) ВЭПП-2000 является её минимальное отклонение от магнитных осей выбранных элементов. После коррекции замкнутой орбиты можно запомнить положение пучка на всех датчиках положения пучка (ДПП) и использовать эти данные для последующих правок орбиты. В качестве ДПП на ускорителе ВЭПП-2000 используются 16 ПЗС камер, которые детектируют синхротронное из-

лучение электронов и позитронов из дипольных магнитов, и 4 датчика зарядов изображений, так называемые «пикапы». ПЗС камеры не закреплены жёстко, поэтому время от времени их положение изменяется, соответственно для коррекции орбиты по данным с ДПП необходимо производить регулярные калибровки.

Процедура настройки кольца состоит из нескольких этапов. Первый этап — правка равновесной орбиты (РО): снимаются матрицы отклика РО в пикапах на вариацию градиентов линз; с помощью SVD-анализа вычисляется искажение орбиты в линзах; производится расчет токов коррекций для правки полученных искажений. Процедура выполняется в 2–3 итерации по 10 минут каждая, затем производится минимизация токов корректоров. В результате достигается точность РО в пределах 0,5 мм.

Второй этап настройки — правка оптики. Одной из главных проблем при введении ускорителя в строй, а также при его постоянной работе является обнаружение и устранение ошибок в линейной магнитной структуре машины. Процедура начинается с набора матриц отклика в пикапах и ПЗС камерах на вариацию дипольных корректоров; с помощью SVD анализа осуществляется вычисление действующей модели; затем производится коррекция токов в элементах (квадруполи и соленоиды). На одну итерацию уходит около 60 минут, для всей правки обычно требуется 3–4 итерации. В результате получаются ровные размеры пучка, проектная функция в месте встречи, нулевая дисперсия вне ахроматов (Рис. 5.1.2, Рис. 5.1.3).

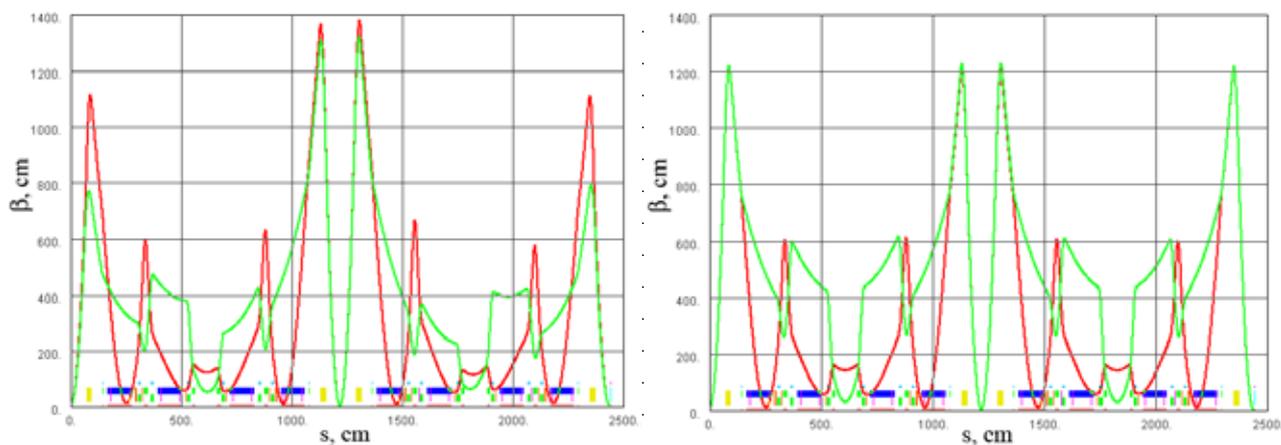


Рис. 5.1.2 Результат правки оптических функций.

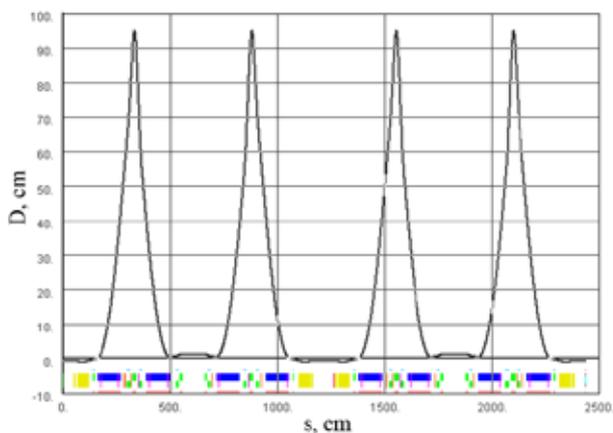


Рис. 5.1.3 Дисперсионная функция равна нулю вне ахроматов.

Последний этап настройки кольца — компенсация связи семействами скью-квадрупольных коррекций до уровня $< 0,003$. Независимый контроль рабочей оптики осуществляется по измерениям размеров пучка: на малых токах в отсутствие эффектов встречи размеры пучка должны соответствовать проектным. На Рис. 5.1.4 показаны «естественные» размеры при малых токах пучков (< 1 мА), видно хорошее соответствие величин, полученное после правки магнитной оптики.

Важность правки оптических функций демонстрирует Рис. 5.1.5. Поскольку процедура правки занимает значительное время, она проводилась не всегда. В результате нарушались оптические функции, ахроматы, светимость была низкой. Можно наблюдать значительное увеличение светимости после проведения всех корректирующих мероприятий.

Существует несколько вариантов работы с круглым пучком (Рис. 5.1.6), отличающиеся полярностью соленоидов.

В схеме «Мёбиус» рабочая точка расположена далеко от резонанса связи, это может быть интересно с точки зрения нелинейной динамики (частота вблизи других нелинейных резо-

нансов). Однако эта схема имеет существенно меньшую динамическую апертуру (Рис. 5.1.7, Рис. 5.1.8), поэтому от её практического использования пришлось отказаться, работа кольца ведется вблизи резонанса связи.

При практической работе важно учитывать влияние резонансов высоких порядков на динамику пучка в кольце. Рис.5.1.9 показывает проявление машинных резонансов высоких порядков, время жизни пучка существенно падает.

В присутствии встречного пучка ситуация заметно усложняется (Рис. 5.1.10), появляются резонансы еще более высокого порядка. Это означает, что рабочую точку надо держать достаточно точно отстроенной от всех этих резонансов.

Краткая хронология событий на ВЭПП-2000 в 2011 году выглядит так. В самом начале января были опробованы «мёбиусные» варианты круглого пучка. С января по середину июня шел набор светимости в диапазоне 500–1000 МэВ. Новый сезон начался с замены пластин инфлектора: старые пластины были выполнены из нержавеющей стали с μ чуть отличным от 1, что могло негативно повлиять при работе на низких энергиях, пластины заменены на медные. Затем проводилась модификация вакуумной камеры для ввода лазерного излучения системы калибровки энергии по обратному комптоновскому рассеянию. После всех работ с вакуумной камерой потребовалось провести обезгаживание в «теплой» оптике. В конце ноября случилась вакуумная авария, произвели ремонт сильфона, затем снова получение вакуума и обезгаживание. Новый год начался с ввода поля КМД 3 и калибровки по ϕ -мезону с детектором СНД.

На Рис. 5.1.11 показана светимость в разных сезонах в зависимости от энергии пучка. Видно, что в сезоне 2009–2010 на больших энергиях светимость катастрофически падала. Однако в

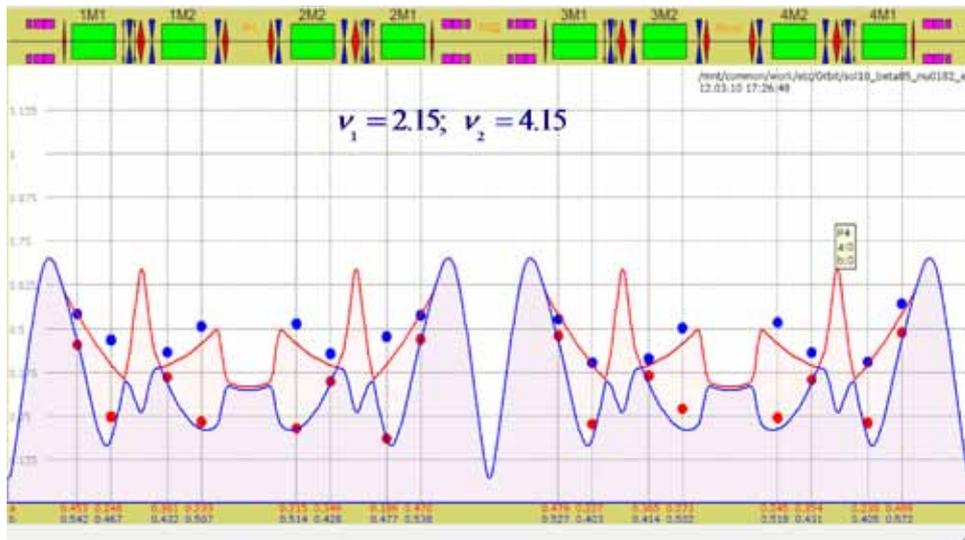


Рис.5.1.4 Огибающие и размеры пучка.

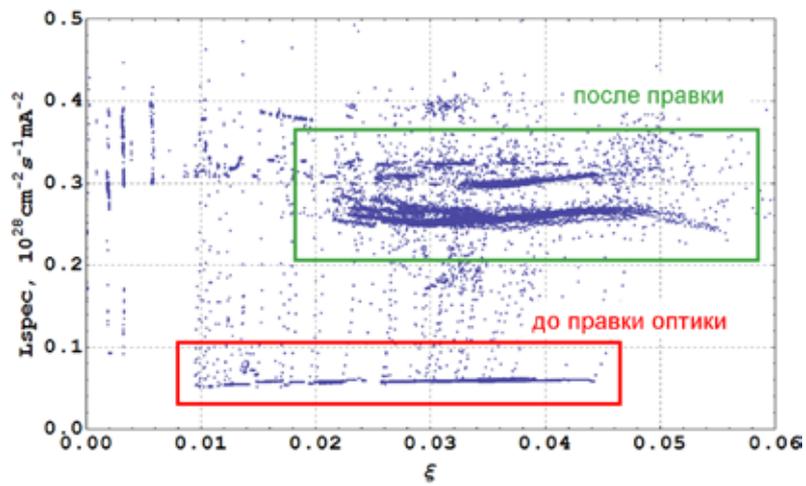


Рис. 5.1.5 Удельная светимость в зависимости от параметра ξ на энергии 900 МэВ.

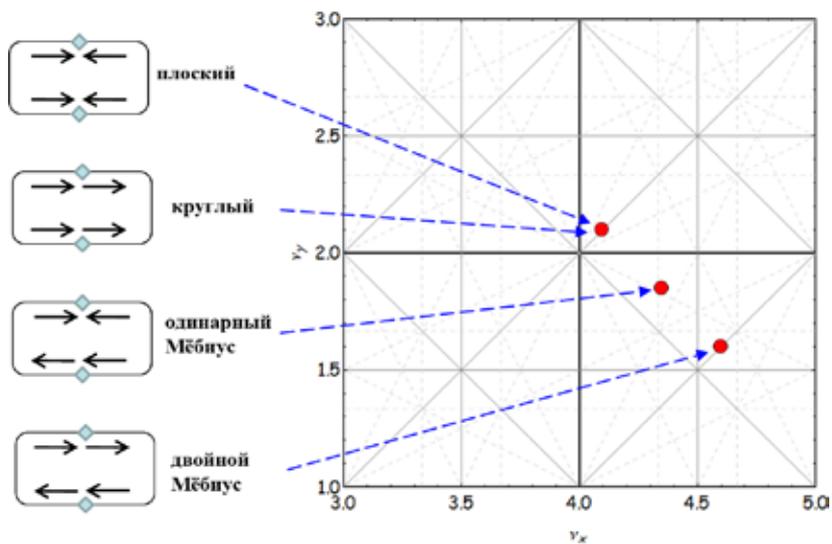


Рис. 5.1.6 Схемы круглого пучка.

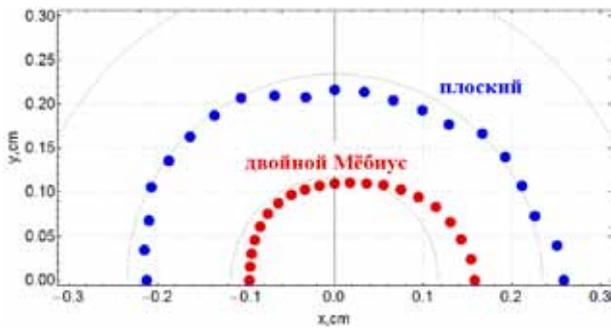


Рис. 5.1.7 Симуляция ДА на программе SAD плоского пучка и схемы двойного мебиуса.

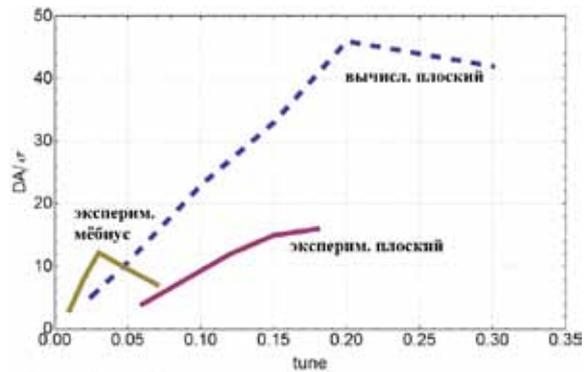


Рис. 5.1.8 Измерение по пикапам потерь ударенного пучка на энергии 500 МэВ.

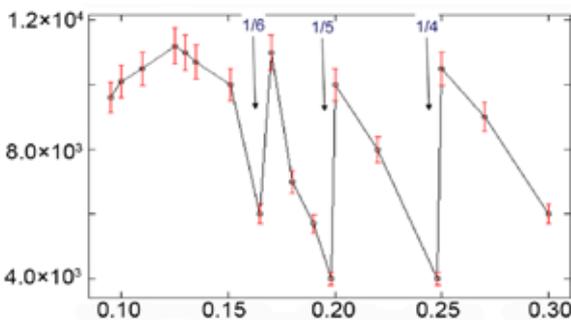


Рис. 5.1.9 Время жизни 20 мА позитронного пучка от рабочей точки.

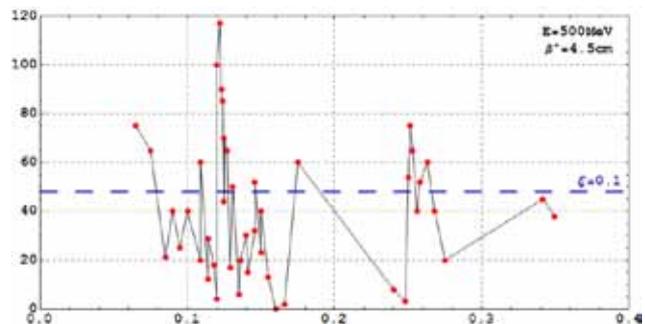


Рис. 5.1.10 Зависимость порогового тока от рабочей точки.

этом сезоне удалось решить ряд технических проблем и достичь большей светимости с подъемом энергии. Одна из возможностей повысить светимость на низких энергиях — варьировать β -функцию в месте встречи. В этом сезоне была получена проектная энергия 1 ГэВ, на энергии 825 МэВ были рекордные смены с набором 580 нб⁻¹ за сутки.

Прогресс на высокой энергии был достигнут благодаря ряду улучшений в БЭП и ВЭПП 2000. Была произведена модификация секстиполей БЭП и усиление источника BUMP. Это позволило поднять практическую энергию подъема пучка в БЭП до 825 МэВ, но это, по видимому, является пределом бустерного кольца в его нынешнем виде, поэтому запланирована программа модернизации БЭП для работы с пучком на энергии 1 ГэВ. Был произведен «форсаж» соленоидов ВЭПП 2000: при подъеме энергии происходило отставание токов в соленоидах, смещалась рабочая точка на различные резонансы, пучок терялся. Для исправления ситуации была заложена программная поправка в управление токами соленоидов, что позволило поднимать пучки на высокую энергию.

Измерения светимости на ВЭПП 2000 производятся с 2007 года по данным, передаваемым с детекторов. Однако, такие измерения довольно медленные, и имеют большую статистическую погрешность, вследствие чего флуктуируют и не всегда удобны для настройки ускорителя. В качестве альтернативного инструмента было реализовано независимое измерение све-

тимости по размерам пучков. Для вычисления светимости необходимо знать лишь размеры в месте встречи и интенсивность сталкивающихся сгустков. При этом, даже в машине с одним кольцом размеры электронного и позитронного пучков, вообще говоря, различны вследствие эффектов встречи: динамические эмиттансы ϵ и бета-функция β^* зависят от тока встречного пучка. Причём помимо линейных эффектов существует стохастический прирост эмиттанса на машинных и порождаемых эффектами встречи нелинейных резонансах, что делает невозможным предсказание зависимости светимости от тока в случае сильных встречных сгустков.

Измерение размеров пучков непосредственно в месте встречи технически невозможно. Однако, на кольце имеется 16 точек измерения размеров ПЗС-камерами по выведенному из поворотных магнитов синхротронному излучению: 8 выводов СИ электронного и 8 - позитронного пучков. В отсутствие встречного пучка оптика кольца хорошо известна, транспортные матрицы между точками измерения также известны, и все размеры могут быть приведены к одному азимуту для сравнения и анализа. Эффекты встречи изменяют эмиттансы пучков, а также вносят искажение фокусировки, но возмущение локализовано в месте встречи, поэтому все транспортные матрицы, не захватывающие место встречи, остаются прежними.

Расчёт размеров и светимости делается в следующих предположениях.

1. Оптика невозмущённого кольца извест-

на, включая транспортные матрицы, дисперсионную функцию и разброс импульсов в пучке.

2. Две арки, от места встречи до места встречи, всегда остаются идентичными друг другу, сохраняется зеркальная симметрия.

Оптика несвязанная, то есть можно использовать независимые матрицы перехода 2×2 .

Описанный метод измерения светимости прекрасно работает на комплексе ВЭПП 2000 (Рис. 5.1.12). Помимо светимости, программа позволяет получать различные параметры пуч-

ков и отслеживать их изменение во времени.

Данные, полученные таким методом, хорошо согласуются с данными по светимости от детекторов (Рис. 5.1.13).

Рис. 5.1.14 и Рис. 5.1.15 демонстрируют успехи в наборе светимости в сезоне 2010–2011.

Совместно с командой детектора СНД идет подготовка к калибровке энергии по обратному комптоновскому рассеянию (ОКР).

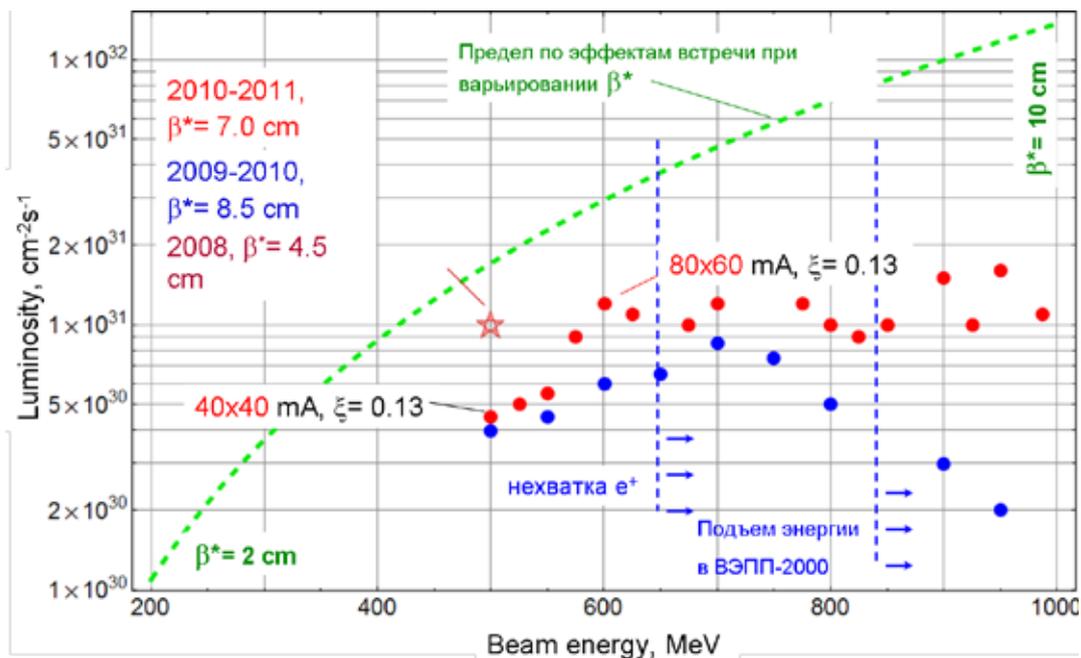


Рис. 5.1.11 Зависимость светимости от энергии.

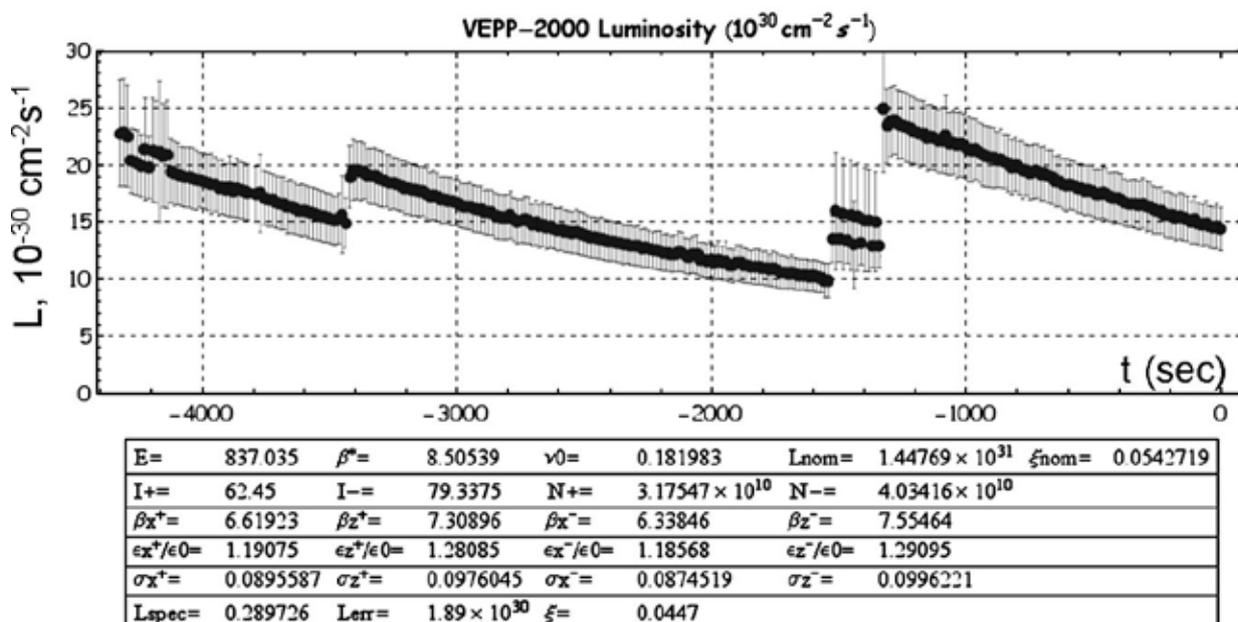


Рис. 5.1.12 Измерение светимости по размерам пучков.

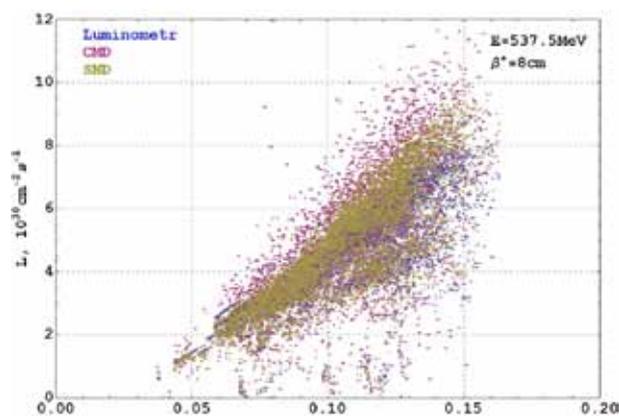


Рис. 5.1.13 Светимость от параметра пространственного заряда.

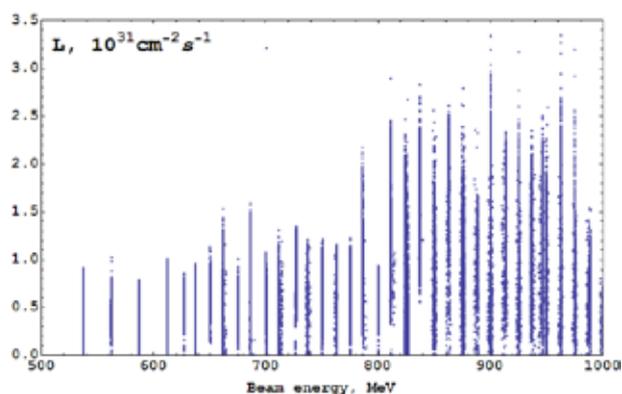


Рис. 5.14 Светимость в сезоне 2010-2011.

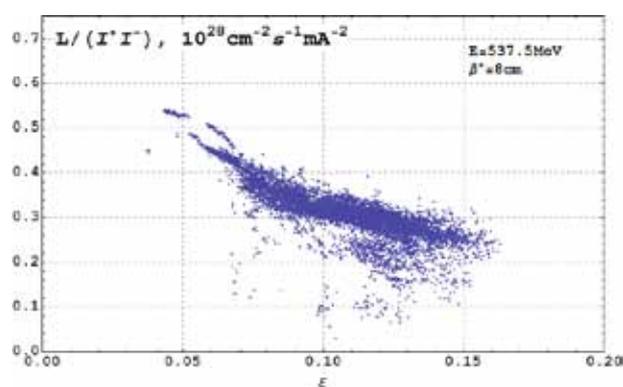


Рис. 5.1.15 Удельная светимость от параметра встречи.



Рис. 5.1.16 Модификация вакуумной камеры для метода ОКР.

5.2 Ускорительный комплекс ВЭПП-4

Ускорительный комплекс ВЭПП-4 представляет собой уникальную установку для проведения экспериментов со встречными электрон-позитронными пучками высоких энергий. Комплекс включает в себя инжектор «Позитрон», многофункциональный накопитель ВЭПП-3 и электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-4М с универсальным магнитным детектором КЕДР. Основное назначение коллайдера ВЭПП-4М – экспериментальное изучение свойств элементарных частиц, параметров резонансов и сечений процессов электрон-позитронной аннигиляции.

5.2.1 Распределение рабочего времени

В 2011 году на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М продолжались эксперименты по физике высоких энергий с детектором КЕДР, но им была отведена меньшая доля рабочего времени комплекса в связи с остановкой

детектора на плановый ремонт 23 марта. Подготовлены и проведены следующие эксперименты:

- два сканирования в области $2E = 3,1 \div 3,7$ ГэВ для измерения параметра R, суммарный интеграл $\int L dt \sim 1,4$ пб⁻¹;
- набор $\int L dt \sim 2,1$ пб⁻¹ на $\psi(2s)$ -мезоне.
- пробная работа на энергии пучка $E = 3,5$ ГэВ. За две недели набран интеграл по светимости $\int L dt \sim 0,16$ пб⁻¹;

На комплексе проводились также эксперименты с использованием пучков синхротронного излучения, выведенных из накопителей ВЭПП-3 и ВЭПП-4М. На ВЭПП-4М осуществлен цикл экспериментов с пучком высокоэнергетичных γ -квантов, полученных конверсией на внутренней мишени («выведенный пучок»).

Кроме того, часть экспериментального времени на накопителе ВЭПП-3 была отведена на эксперимент ДЕЙТРОН с внутренней мишенью.

Выполнен ряд экспериментов по модерни-

зации коллайдера ВЭПП-4М:

- осуществлена настройка ВЧ системы для работы на высокую энергию (более 2 ГэВ);
- проведены испытания системы продольной обратной связи на энергии пучка $E = 3,5$ ГэВ;
- проведены эксперименты с поперечной обратной связью на энергии пучка $E = 3,5$ ГэВ с целью получения максимально возможных электронных и позитронных токов.

На рис. 5.2.1 показано распределение времени по различным видам работ на комплексе ВЭПП-4 за 2011 год. Как видно на рисунке, в этом году рабочее время комплекса распределено главным образом между экспериментами по физике высоких энергий с детектором КЕДР (14,8 %) и экспериментами с использованием синхротронного излучения (20,7 % ВЭПП-3 + 2,8 % ВЭПП-4М), а также экспериментом ДЕЙТРОН на ВЭПП-3 (17,3%). Регулярные профилактические работы (2,6%) выполняются еженедельно. Потери времени за счет неисправностей (6,2%) и ремонта обусловлены многочисленностью, сложностью и износом оборудования, большая часть которого эксплуатируется десятилетиями.

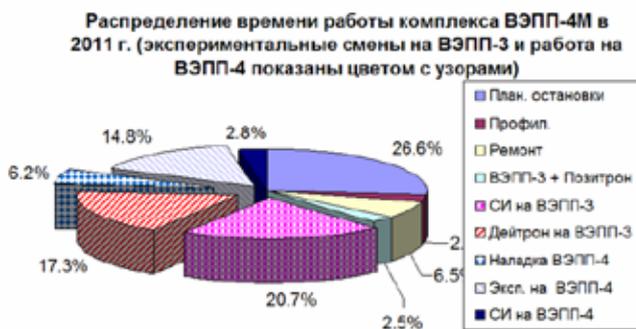


Рис. 5.2.1. Распределение рабочего времени на комплексе ВЭПП-4.

5.2.2 Физика высоких энергий

В 2011 году продолжались эксперименты по физике высоких энергий с детектором КЕДР. В настоящее время основным экспериментом является измерение сечения e^+e^- аннигиляции в адроны в широком интервале энергий от 1,8 ГэВ до 8 ГэВ в системе центра масс (энергия пучков частиц - от 0,9 ГэВ до 4 ГэВ). Кроме того, проведено сканирование $\psi(2s)$ -мезона.

Величина сечения e^+e^- аннигиляции в адроны обычно характеризуется параметром R равным отношению этого сечения к расчетному сечению аннигиляции в мюоны. Величина R является одной из важнейших характеристик в физике кварков, которая определяет, в частности, величину адронного вклада в аномальный магнитный момент мюона и перенормировку электромагнитной константы связи. Наиболее

интересным представляется измерение R в интервале от 5 до 7 ГэВ в системе центра масс. Этот интервал изучался ранее только в экспериментах с детекторами MARK-I и Crystal Ball. Однако, результаты MARK-I в настоящее время считаются ошибочными, а результат Crystal Ball не был опубликован в журналах, так что достоверных данных, включенных в PDG, нет.

В 2011 году в рамках эксперимента по измерению R был проведен набор статистики в диапазоне энергии пучка 0,9 – 1,5 ГэВ. Мониторинг параметров пучка при сканировании обеспечивался системой измерения энергии и энергетического разброса пучка по обратному комптоновскому рассеянию (ОКР) лазерных фотонов. Также было проведено несколько прецизионных измерений энергии пучка методом резонансной деполяризации с целью калибровки системы ОКР.

В этом эксперименте основной проблемой является существенное уменьшение светимости при снижении энергии пучка, теоретические расчеты дают зависимость $L \sim E^4$. Кроме того, поскольку ВЭПП-4М не планировалось использовать на столь низких энергиях, возникают проблемы, усугубляющие потери светимости. В частности, на низкой энергии значительно возрастает негативное воздействие коллективных эффектов динамики пучка и эффектов встречи, снижающие предельные токи пучков.

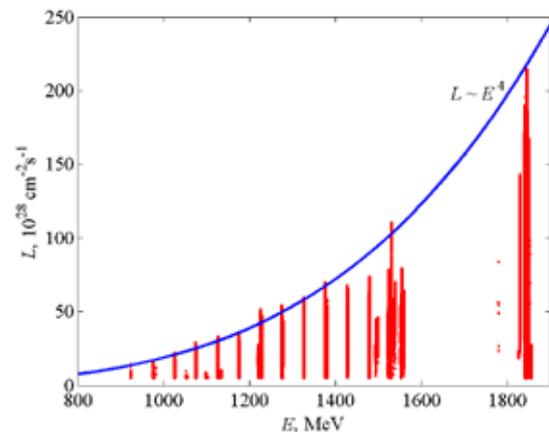


Рис. 5.2.2. Измеренная и расчетная светимость в зависимости от энергии пучка.

На рис. 5.2.2 показана измеренная светимость за 2011 год в зависимости от энергии пучка в сравнении с расчетной кривой $L_{\text{calc}} = L_{\text{max}} = 1,85\text{GeV} \cdot (E/1,85\text{GeV})^4$. Как видно на рисунке, в основном максимальная светимость неплохо согласуется с теоретической кривой.

Основными результатами экспериментов по физике высоких энергий являются уточненное значение массы $\psi(2s)$ -мезона, измеренной с лучшей в мире точностью, и предел на величину узких резонансов в области $2E = 1,85 \pm 3,1$ ГэВ.

5.2.3 Работа комплекса ВЭПП-4 на энергии $E = 3,5 \div 4$ ГэВ.

Временной график энергии ВЭПП-4М в одном из типичных заходов ускорителя на высокую энергию представлен на рис. 5.2.3.

Максимальная светимость, достигнутая на энергии $E = 3,5$ ГэВ, составила $L_{\max} = 3,7 \cdot 10^{30}$ см² сек⁻¹ при средней светимости $L_{av} = 2,5 \cdot 10^{30}$ см² сек⁻¹. Обе величины ограничены токами, достижимыми для накопления в бустере ВЭПП-3.

ВЭПП-4М предполагается использовать как источник СИ при энергии пучка $E = 3,5 \div 4$ ГэВ, поэтому важной величиной, как и при работе на светимость, является максимально достижимый ток пучка в ускорителе. Для подавления когерентных неустойчивостей, препятствующих увеличению тока пучка на высокой энергии, в сезоне 2011 года была испытана система поперечной обратной связи (ОС). Эта методика продемонстрировала ранее свою эффективность при работе ускорителя на энергии инжекции из ВЭПП-3. Не менее эффективно ОС действует и при ускорении пучка в ВЭПП-4М, позволяя достичь тока в сгустке до 30 мА (рис. 5.2.4). Существует обоснованная надежда иметь суммарный ток на уровне 50 – 60 мА в четырех последовательно инжектируемых сгустках при работе на светимость в режиме «два банча e^- на два банча e^+ ».



Рис. 5.2.3. Зависимость энергии коллайдера ВЭПП-4М от времени в течение месяца.

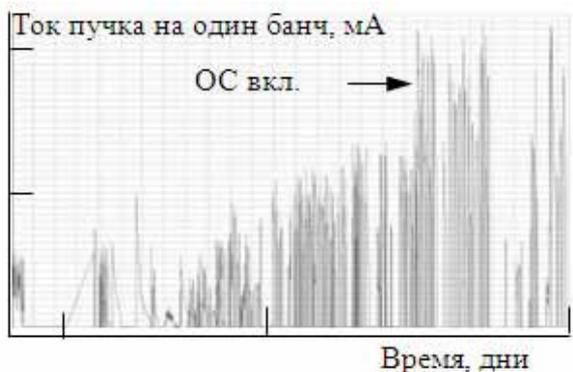


Рис. 5.2.4. Ток пучка на один банч в ВЭПП-4М в зависимости от времени в течение месяца.

5.2.4 Эксперимент ДЕЙТРОН на ВЭПП-3.

Измерение отношений сечений упругого рассеяния электронов/позитронов на протоне (R) позволяет определить вклад двухфотонного обмена в этот процесс. Необходимость учета ДФО была осознана в связи с возникшим противоречием в результатах измерений электромагнитных форм факторов протона. В 2009 году на накопителе ВЭПП-3 произведено измерение R с точностью, значительно превышающей точность известных мировых данных. В 2011 году начато измерение R в другой кинематической области (рис. 5.2.5), что позволит повысить точность еще в два раза. К началу 2012 года набран запланированный интеграл светимости, более 60 килокулон (рис. 5.2.6).

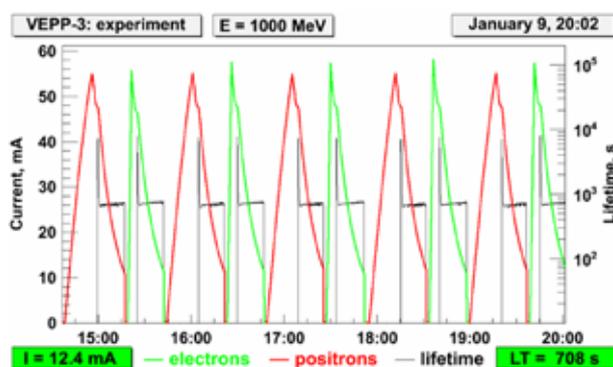


Рис. 5.2.5. Цикл набора статистики в эксперименте ДЕЙТРОН. Время жизни пучков определяется взаимодействием с внутренней мишенью (водородной струей).

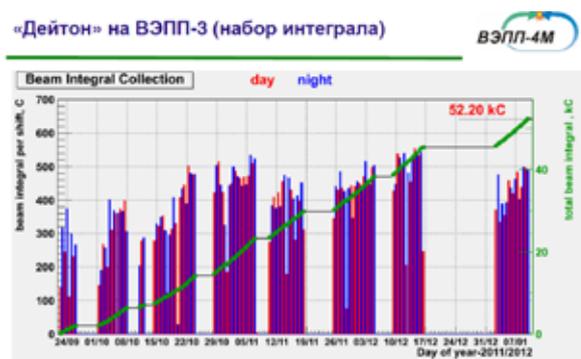


Рис. 5.2.6. Набор светимости на ВЭПП-3 в эксперименте ДЕЙТРОН.

5.2.5 Выведенный пучок на ВЭПП-4М.

Для калибровки различных систем детекторов элементарных частиц строящихся и проектируемых ускорителей требуются потоки γ -квантов и электронов с известными свойствами. Для получения таких пучков на ВЭПП-4М используется рассеяние электронов либо на остаточном газе, либо на специально вводимом в вакуумную камеру ускорителя вольфрамовом конвертере. Образующиеся при этом вторичные частицы попадают в оборудованный экспериментальный зал через коллиматор (рис. 5.2.7). Проектные параметры пучков γ -квантов и электронов представлены в табл. 5.2.1.

Табл. 5.2.1. Параметры выведенных пучка γ -квантов и электронов

	электроны	γ -кванты
Энергия, ГэВ	0,1 ÷ 3,0	0,1 ÷ 3,0
$\frac{\sigma_E}{E} \frac{\sigma_E}{E}, \%$	0,5 ÷ 5,0	~1
Интенсивность, Гц	10 ÷ 1000	1000
Координатное разрешение, мм	0,5	-

В весной 2011 года на выведенном пучке прошло тестирование прототипа ФАРИЧ для проектируемой супер с-т фабрики и сцинтилляционных кристаллов для эксперимента COMET (JPARC, Япония). Планируется продолжение обоих экспериментов в 2012 году.

5.2.6 Летняя профилактика комплекса ВЭПП-4.

Плановая остановка на летнюю профилактику, начатая 1 июня, была использована для проведения многочисленных работ, в том числе требовавших вскрытия вакуумной камеры ВЭПП-4М. Осуществленные работы по модернизации комплекса ВЭПП-4:

1. Гидравлические испытания («Позитрон»).
2. Смена окон и зеркал системы оптической диагностики пучка в техническом промежутке ВЭПП-4М.
3. Вскрытие линейного ускорителя, ремонт системы подстройки.
4. Замена приемника СИ в “S” вставке ВЭПП-4М.
5. Установка подвижного конвертера в экспериментальном промежутке ВЭПП-4М (для выведенных пучков).
6. Установка блока линз в канале ВЭПП-3 – ВЭПП-4М.
7. Модернизация системы диагностики пучка в канале ВЭПП-3 – ВЭПП-4М.
8. Ремонт резонаторов ВЭПП-4М.
9. Замена системы термостабилизации резонаторов ВЭПП-4М.
10. Модернизация юстировочных узлов четырех магнитов в S-полукольце.
11. Кондиционирование помещения ГИМ-Нов.
12. Устранение ограничения апертуры ВЭПП-4М в пикапе SRP4.

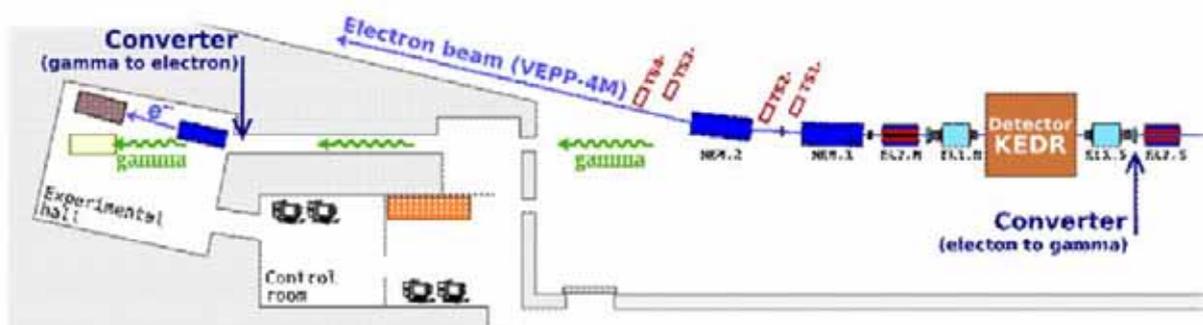


Рис.5.2.7. Выведенный пучок на ВЭПП-4М.

5.3 Инжекционный комплекс

В 2011 году активно проводились пусконаладочные работы на линейном ускорителе позитронов Инжекционного комплекса ВЭПП-5. В частности, были испытаны на высоком уровне СВЧ мощности ускоряющие структуры линейного ускорителя позитронов (см. Рис.5.3.1), изготовлена и установлена на ускоритель система очистки позитронного пучка от электронов (см. Рис.5.3.2). В кольце накопителя-охладителя установлен датчик тока накопленного пучка (см. Рис.5.3.3).



Рис. 5.3. 1. Линейный ускоритель позитронов Инжекционного комплекса.

Линейный ускоритель позитронов являлся последним недостающим элементом в составе нового Инжекционного комплекса. Данный комплекс способен одновременно и с запасом обеспечить электронами и позитронами действующие в ИЯФ СО РАН электрон-позитронные коллайдеры ВЭПП-2000 и ВЭПП-4М. Работа этих больших установок необходима для выполнения основной программы исследований института по физике высоких энергий. Инжекционный комплекс ВЭПП-5 не имеет аналогов в России и сравним с лучшими мировыми образцами такой техники. Более того, отдельные узлы и подсистемы комплекса имеют рекордные параметры и не имеют аналогов в мире.

Также в 2011 году были продолжены работы по монтажу оборудования транспортных каналов для пучков электронов и позитронов (см. Рис.5.3.4), поставляемых Инжекционным комплексом на коллайдеры ВЭПП-2000 (см. Рис. 5.3.6) и ВЭПП-4М (см. Рис.5.3.5). В частности, были проложены основные кабельные трассы, обеспечивающие работу каналов, и установлены основные элементы этих каналов.



Рис. 5.3. 2. Элемент системы очистки позитронного пучка от электронов.



Рис. 5.3. 3. Датчик тока накопленного пучка накопителя-охладителя перед установкой в кольцо.



Рис. 5.3. 4. Спуск пучков в тоннели транспортных каналов Инжекционного комплекса.



Рис. 5.3. 5. Общий вид транспортного канала на ВЭПП-4М.



Рис. 5.3. 6. Общий вид транспортного канала на ВЭПП-2000.

5.4 Линейный индукционный ускоритель ЛИУ-2

В 2011 году был осуществлен монтаж и ввод в эксплуатацию линейного индукционного ускорителя ЛИУ-2 на внутреннем испытательном полигоне РФЯЦ ВНИИТФ (г. Снежинск) (см. Рис.5.4.1 и 5.4.2).



Рис. 5.4. 1. Общий вид ускорителя ЛИУ-2 на внутреннем испытательном полигоне РФЯЦ ВНИИТФ.

Линейный индукционный ускоритель ЛИУ-2 был разработан и изготовлен в ИЯФ СО РАН в 2007-2010 годах как прототип Инжектора для большого индукционного ускорителя на энергию 20 МэВ, предназначенного для перспективного рентгенографического комплекса нового поколения.

Основной целью разработки новой машины стало достижение максимально возможного качества пучка, что позволит максимально уменьшить поперечный размер электронного пучка на конверсионной мишени.



Рис. 5.4. 2. Общий вид системы импульсного высоковольтного питания ЛИУ-2.

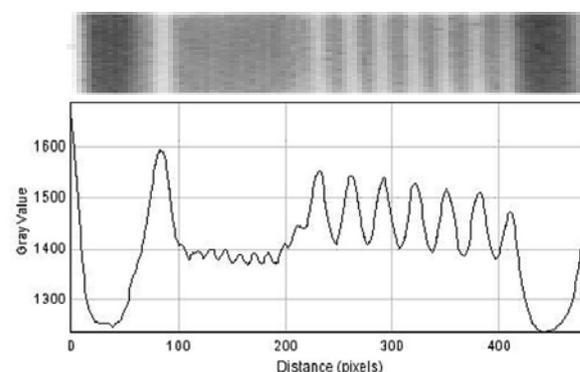


Рис. 5.4. 3. Изображение и соответствующий профиль интенсивности вольфрамовой миры снятой с помощью ЛИУ-2 в стандартной постановке взрывного опыта. Период миры слева – 1 мм, справа – 3 мм.

В результате был получен размер пучка на мишени при энергии 2 МэВ, токе 2 кА и длительностью 180 нс равный 1,5 мм (ширина на полувысоте). Полученные параметры позволили использовать ЛИУ-2 в качестве самостоятельной рентгенографической установки с просвечивающей способностью до 90 мм в свинцовом эквиваленте и поперечным диаметром рентге-

новского источника не более 1,5 мм (ширина на полувысоте). В настоящий момент ЛИУ-2 работает в составе рентгенографического комплекса по основной тематике исследований РФЯЦ ВНИИТФ. Рис.5.4.3 показывает максимальное пространственное разрешение рентгенографической системы на базе ЛИУ-2 равное 0,5 мм.

5.5 Электронно-лучевая сварка

В 2011 году были продолжены работы по совершенствованию разработанных и изготовленных в ИЯФ СО РАН перспективных энергоблоков для установок электронно-лучевой сварки. Была изготовлена и успешно испытана экспериментальная электронная пушка с косвенным подогревом вольфрамового катода. На основе полученного опыта создается опытный образец такой пушки. В 2011 году был создан и запущен в работу экспериментальный стенд для отладки подсистем установки электронно-лучевой сварки. По сути, стенд является универсальной установкой электронно-лучевой сварки с вакуумным объемом 0,3 м³ (см. Рис. 5.5.1 и 5.5.2).



Рис.5.5.1 Вид внутренней части экспериментального стенда для отладки подсистем установки электронно-лучевой сварки.

Разработана схема и изготовлена электроника блока, предназначенного для наблюдения свариваемого шва по неоднородности рассеяния и/или отражения электронов и последующего точного (по результатам наблюдения) наведения электронного пучка на шов в процессе сварки. На Рис.5.5.3 представлен результат пробной сварки нержавеющей трубки на стенде.



Рис.5.5.2 Электронная пушка на стенде в момент сборки.



Рис.5.5.3 Сваренный на стенде образец.

5.6 Изготовление квадрупольных линз для NSLS-II

В национальной лаборатории Брукхэвен в США в настоящее время строится источник синхротронного излучения NSLS-II. Для основного кольца NSLS-II в ИЯФ СО РАН были спроектированы и изготавливаются квадрупольные линзы нескольких типов. Параметры линз представлены в Таблице 5.6.1.

Таблица 5.6.1. Параметры квадрупольных линз NSLS-II.

Параметр	ед.	тип 9801 и 9802	тип 9804 и 9807
Количество		30/30	30/30
Радиус апертуры	мм	33	33
Длина ярма	м	0,217	0,415
Градиент магнитного поля	Т/м	11	20,2
Интеграл магнитного поля	Т	2,8	8,8
Ампер-витки	кА	4,9	9,0

К настоящему времени изготовлено следующее количество линз: 9801 – 25 из 30, 9802 – 24 из 30, 9804 – 24 из 30, 9807 – 21 из 30. Фотографии линз (см. Рис.5.6.1).

Измерения гармоник полей готовых квадрупольных NSLSII в сравнении с гармониками квадрупольных нескольких современных источников СИ представлены на Рис.5.6.2. По вертикали отложена амплитуда гармоник относительно основной в единицах 10^{-4} . По горизонтали указаны сокращенные названия источников и год их запуска. Для всех квадрупольных измерений пересчитаны на 75 % апертуры и усреднены по всем типам линз. В качестве погрешностей отложено одно стандартное отклонение от среднего. Выполнение работы идет успешно, в соответствии с графиком.

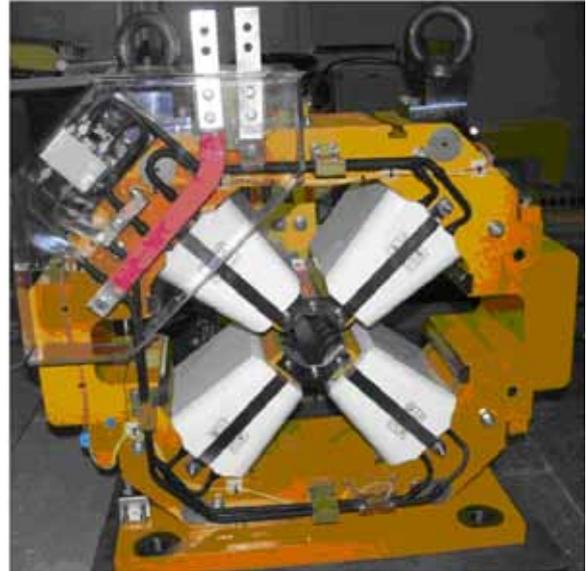


Рис. 5.6.1 Квадрупольные линзы NSLS-II (вверху - тип 9802, внизу - тип 9804).

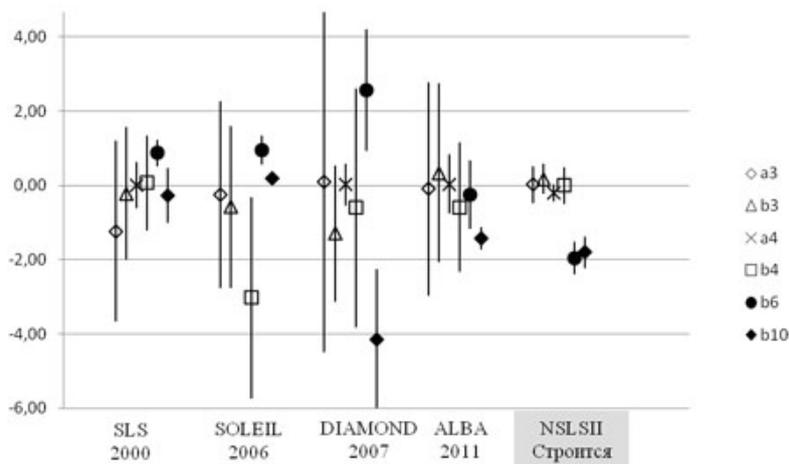


Рис. 5.6.2 Измерения качества поля квадрупольных NSLS-II в сравнении с другими современными источниками синхротронного излучения. По вертикали отложена амплитуда гармоник относительно основной в единицах 10^{-4} .

5.7 Установка Электронного охлаждения

В 2011 году в Институте продолжился запуск установки электронного охладителя для синхротрона COSY, Германия. В процессе работы был собран электростатический ускоритель, состоящий из 34 высоковольтных секций. В результате испытаний было достигнуто напряжение 1 МэВ, проверена совместная работа электронных блоков секций, испытана связь с высоковольтными секциями по протоколу ZigBee. Передача мощности высоковольтным секциям осуществлялась с помощью каскадного трансформатора, который был собран, запущен в полном объеме и обеспечил передачу мощности порядка 10 кВт в электростатическом ускорителе.

На специализированном стенде "пушка-коллектор" (см. рис. 5.7.1) была протестирована новая электродная пушка и коллектор с фильтром Вина. Электронная пушка с четырьмя секторами предназначена для экспериментального измерения поперечной формы пучка вдоль всего транспортного канала и секции охлаждения. В качестве приемника электронного пучка был разработан и изготовлен специализированный коллектор. Его параметры были экспериментально исследованы на специальном стенде "пушка-коллектор". В ходе экспериментов были получены токи потерь на уровне 10^{-5} и лучше, вплоть до 10^{-6} . В ходе работы на стенде была отлажена электроника высоковольтного терминала, которая впоследствии была установлена на электростатический ускоритель.

В процессе запуска все магнитные элементы были собраны установлены и запитаны. Распределения магнитных полей измерено с помощью набора датчиков вдоль всей траектории движения электронов. Вдоль магнитной системы проведен пучок с током 200 мА и энергией 60 кВ.

В начале 2012 года предполагается завершить испытания и отправить систему электронного охлаждения в Германию. В первых испытаниях удалось продемонстрировать работу электронной пушки с возможностью создавать четыре пространственно-разделенных электронных пучка и увидеть, как изменяются размеры и форма пучков вдоль магнитной системы.



Рис. 5.7.2 Фотографии зала испытания системы электронного охлаждения на 2 МВ в начале 2011 года, и в ноябре 2011.

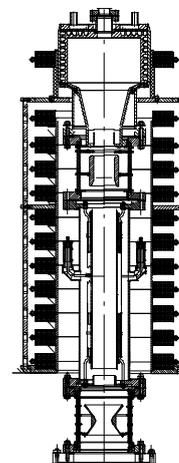
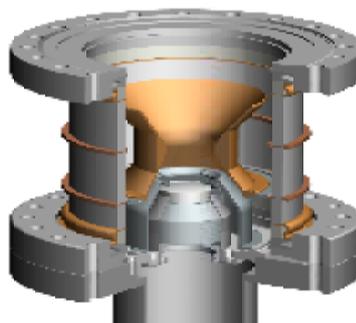


Рис. 5.7.1 Стенд "пушка-коллектор", 4-электродная пушка, коллектор с фильтром Вина (слева направо).

5.8 Ускорительный масс-спектрометр

Ускорительный масс-спектрометр (УМС) предназначен для сверхчувствительного анализа изотопного состава углерода. Содержание радиоактивного изотопа углерода массы 14 а.е.м. в современном объекте (растения, животные) находится на уровне 10^{-12} относительно основного изотопа. Когда объект отмирает, количество радиоуглерода уменьшается в два раза за каждые 5730 лет. Чувствительность УМС ограничена фоном «посторонних» ионов, преодолевших все степени селекции анализатора. Ионы близких масс ^{12}C , ^{13}C , ^{14}N , ^{16}O составляют основу фонового потока. Процессы рассеяния, ионизации, захвата электрона, изменения энергии при перезарядке ионов в электрическом поле при взаимодействии с остаточным газом и стенками вакуумного оборудования уменьшают возможности селекции. В концепцию созданного в ИЯФ СО РАН УМС заложены дополнительные возможности по уменьшению ионного фона. Испытания, проведенные в 2011 году, показали возможность достижения фона до 10^{-15} , что соответствует возрасту более 50 тыс. лет. Были проведены первые измерения натуральных образцов: донных осадков озер Шира и Телецкого, старых деревьев, датированных по годовым кольцам, археологических находок и так далее.

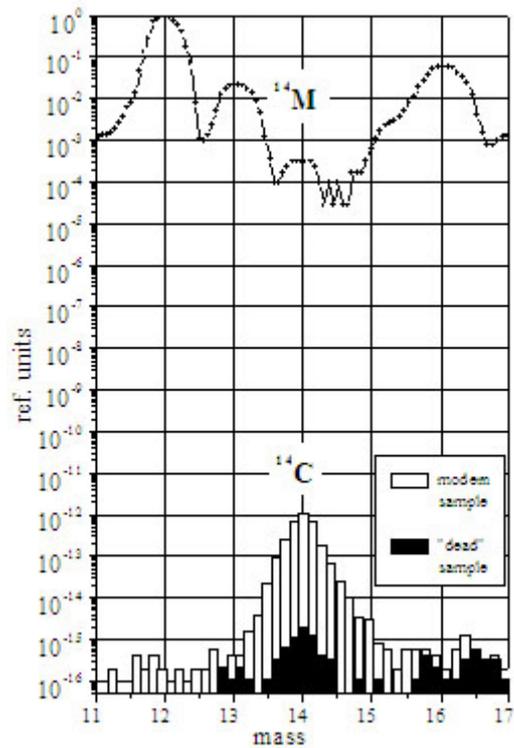


Рис. 5.8.1 Спектр, нормированный на входной ток C^{12} , современной древесины и образца чистого графита, в котором C^{14} успели распастись и остался только небольшой фон от загрязнений.

5.9 Время жизни ионного пучка при наличии электронов на орбите ионного пучка.

На установке Института современной физики, г.Лонжоу, Китай были проведены эксперименты с сильной модуляцией энергии электронов. Для этого в ИЯФ СО РАН была создана система быстрой модуляции энергии электронного пучка и установлена на системе электронного охлаждения в Институте Современной Физики (Китай, Ланджоу). Было обнаружено интересное явление резкого падения времени жизни ионного пучка при сильном отклонении энергии электронов от оптимальной для охлаждения.

На рисунке видно, что время жизни ионного пучка при малой модуляции более 2000 сек, а при модуляции 400 В время жизни падает до 150 сек! Это явление подтверждает точку зрения, что это – развитие когерентных флуктуаций в ионном пучке. Первые явления такого сорта наблюдались на установке CELSIUS и получили название «электронного нагрева». Явление может существенно ограничивать параметры ионных пучков и его полное понимание важно для проекта НИКА.

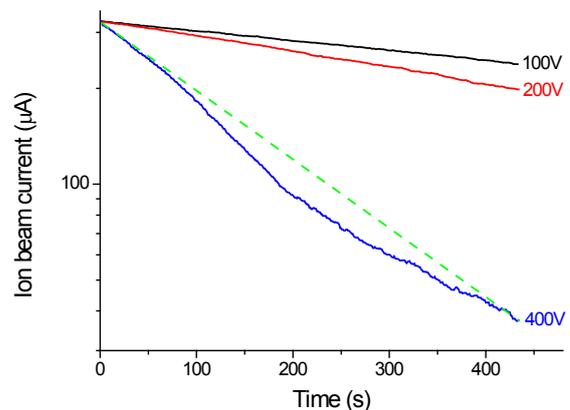


Рис. 5.9.1 Время жизни ионного пучка.

5.10 Вакуумные системы

5.10.1 Вторичная эмиссия и электронные облака.

В 2011 году в ИЯФ спроектирована экспериментальная установка по созданию и изучению поведения электронных облаков в присутствии магнитного поля в лабораторных условиях. Создание данной установки мотивировано следующим:

- отсутствие экспериментальных данных по взаимодействию электронов низких энергий с поверхностью твердого тела в присутствии сильных магнитных полей;

- осуществление сравнительно простого способа создания электронных облаков в лабораторных условиях и изучение их динамики;

- изучения влияния перезарядки оксидного слоя металла на выход вторичных электронов.

Схема установки представлена на рисунке 5.10.1 основные элементы: С – термо-катод, М – модулятор, D – диафрагма (заземлена), BM1 – первый монитор пучка (цилиндр, с устанавливаемым потенциалом), Drift – дрейфовый цилиндр с устанавливаемым потенциалом, BM2 – второй монитор пучка с устанавливаемым потенциалом и S – исследуемый образец (заземлен через измеритель тока). Элементы расположены на одной линии – вдоль силовых линий магнитного поля внутри сверхпроводящего соленоида. В Таблице 5.10.1 представлены размеры и относительное расположение элементов.

На установке осуществлена импульсная методика измерений с временным разрешением около 3 нс. Для этого к модулятору, мониторам пучка и образцу проведены согласованные коаксиальные линии. Пучок первичных электронов длительностью $2 \div 100$ нс создается подачей импульса напряжения на модулятор. Энергия первичных электронов определяется потенциалом катода.

Таблица 5.10.1. Размеры элементов и их относительное расположение.

элемент (справа налево)	вн. диаметр мм	длина, мм	расстояние до элемента справа, мм
С	-		0,25
М	0,5	2	3
D	4,5	1	1
BM1	4	10	0
Drift tube	7	325	1
BM2	7	59	2÷3 (до образца)

После взаимодействия первичных электронов с образцом образуются вторичные (в основном низкоэнергетичные) электроны, жизненное пространство которых ограничено движением только вдоль силовых линий магнитного поля, отрицательным потенциалом катода и, наконец, поверхностью образца. Таким образом, диссипировать электронное облако может только на поверхности образца. Насколько быстро это произойдет, зависит от эффективного коэффициента отражения вторичных электронов от поверхности образца. Этот параметр, важный для предсказания образования электронного облака в ускорителях, чрезвычайно трудно определить прямыми измерениями из-за сложностей управления электронными потоками энергией 1 эВ и менее.

В 2011 году произведен пробный запуск установки с «теплым» соленоидом на максимальное поле 350 Гаусс. На рисунке 5.10.2 представлены характерные временные зависимости токов мониторов (I_{bm1} , I_{bm2}) и образца (I_s).

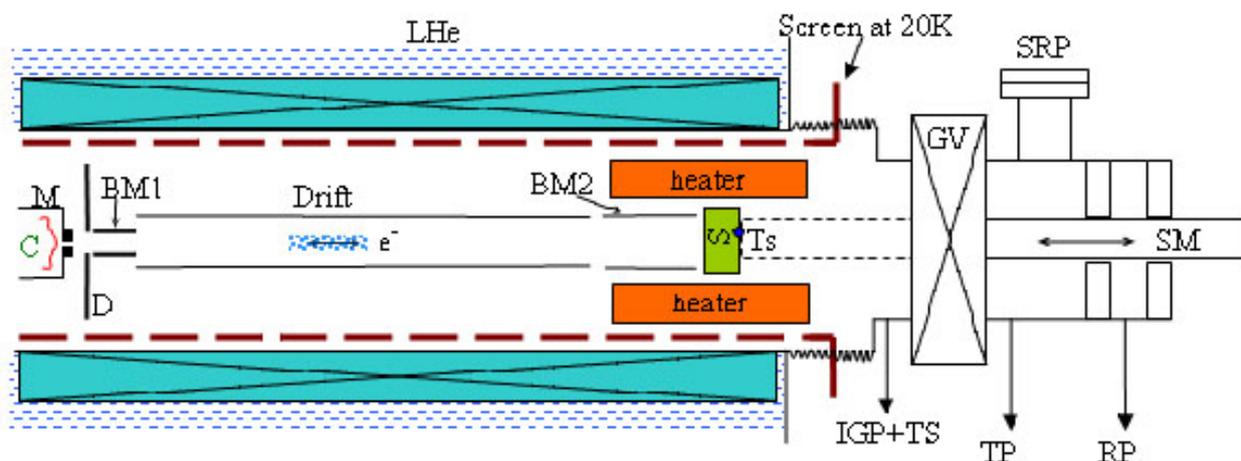


Рис.5.10.1. Схема установки.

Значение коэффициента вторичной электронной эмиссии, в данной методике, можно определить как минимум двумя способами (см. левые графики на рис. 5.10.2):

$$1. \quad SEY_{BM2 \text{ only}} = \frac{\int_{\text{over first positive pulse}} I_{BM2}(t) dt}{\int_{\text{over first negative pulse}} I_{BM2}(t) dt}$$

Интеграл в знаменателе равен заряду первичных электронов (интеграл по первому импульсу тока BM2 соответствующему влету первичных электронов в BM2). Интеграл в числителе равен заряду облака вторичных электронов (импульс тока во время вылета вторичных электронов из BM2).

2.

$$SEY_{BM2+I_s} = \frac{\int_{\text{over first positive pulse}} I_{BM2}(t) dt}{\int_{\text{over first positive pulse}} I_{BM2}(t) dt - \int_{\text{over first pulse}} I_s(t) dt}$$

Здесь заряд в импульсе первичных электронов определяется вычитанием заряда, протекающим через образец во время взаимодействия электронов с поверхностью, из заряда облака вторичных электронов. На рисунке 5.10.3 представлена измеренная зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии первичных электронов для медного образца.

Графики справа на рис.5.10.2 отображают долговременную динамику электронного облака. Видно, что электроны достаточно долго «живут» в свободном состоянии. Это указывает на высокий коэффициент отражения вторич-

ных электронов от поверхности металла. Для определения конкретных значений коэффициента отражения необходимо сравнить полученные экспериментальные данные с компьютерным моделированием динамики электронного облака в данной конфигурации.

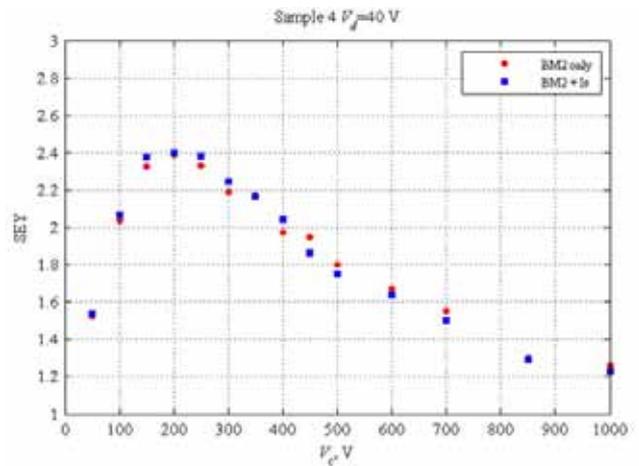


Рис.5.10.3. Коэффициент вторичной эмиссии меди.

Первые эксперименты показали, что основным препятствием проведения прецизионных измерений является возбуждение высокочастотного электромагнитного поля управляющим импульсом модулятора. В 2012 году планируется замена термо-катода на фотокатод с полупроводниковым высокочастотным лазером. Это позволит на порядки снизить электромагнитные помехи, снизить тепловую нагрузку, и поместить измерительную структуру в сверхпроводящий соленоид для проведения экспериментов в магнитном поле до 13 Т.

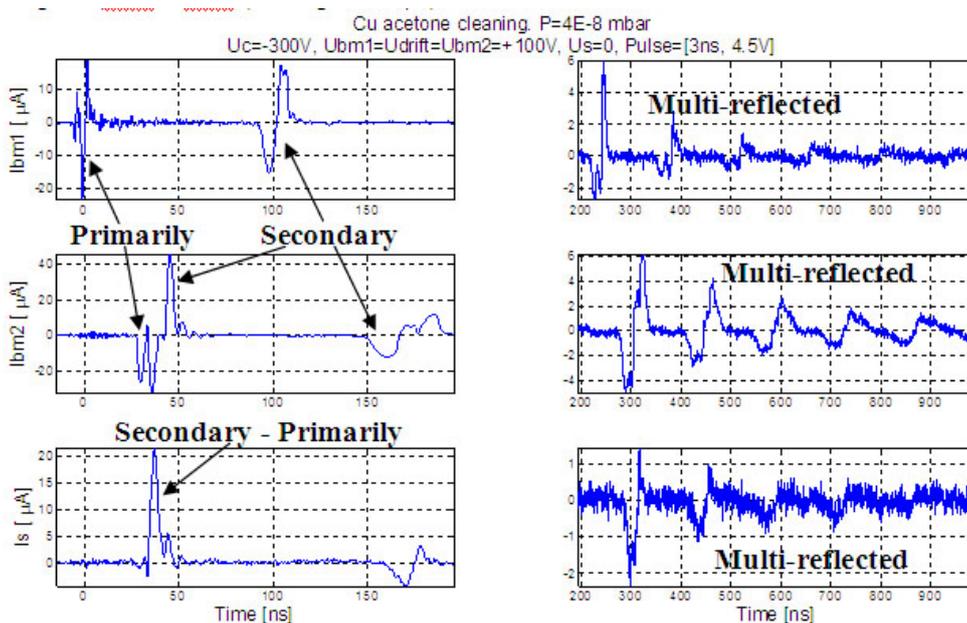


Рис.5.10.2. Токи мониторов пучка Ibm1 & Ibm2 и исследуемого образца.

5.10.2 Исследование эффективности ультразвуковой мойки алюминиевых камер.

Степень очистки поверхности деталей перед сборкой существенно влияет на предельно достижимое разряжение в вакуумной системе. В 2011 году, в рамках контракта по проектированию и изготовлению вакуумных камер для позитронного кольца Super B Factory в КЕК, были проведены исследования эффективности ультразвуковой мойки изделий из алюминиевого сплава 6063 в различных растворах. Сравнение степени очистки поверхности производилось по флуоресцентным спектрам, записываемым на электронном микроскопе оборудованном EP-XRF (Electron-probe X-ray fluorescence) пробником. Энергия электронов была выбрана несколько выше возбуждения линии алюминия для того, чтобы ее интенсивность была в несколько раз меньше интенсивности линий легких элементов, находящихся в поверхностных слоях (в основном это углерод и кислород) для образцов, очищенных вручную спиртом. Как и ожидалось, относительная интенсивность линии углерода в таком режиме оказалась весьма чувствительна к степени очистки поверхности.

На рис.5.10.4 показаны примеры спектров. Для образца, промытого вручную спиртом (Рис.5.10.4, сверху), ярко выражено доминирование пика углерода. Наилучшую же очистку можно достичь химическим травлением или механической обработкой поверхности с последующей мойкой в растворе NGL 17.40 (рис.5.10.4, посередине). Относительное содержание углерода после мойки в ультразвуке с применением этого моющего средства практически такое же, как и после идеального способа очистки: механического снятия окисла шабером непосредственно перед помещением образца в камеру электронного микроскопа (Рис.5.10.4, внизу). Всего было произведено более 30 записей спектров флуоресценции для образцов с различной историей механической и химической обработки поверхности. Основные результаты представлены в Таблице 5.10.2. Цифры в клетках пересечения номера образца и метода обработки указывают время в минутах до помещения образца в камеру электронного микроскопа после последней операции обработки.

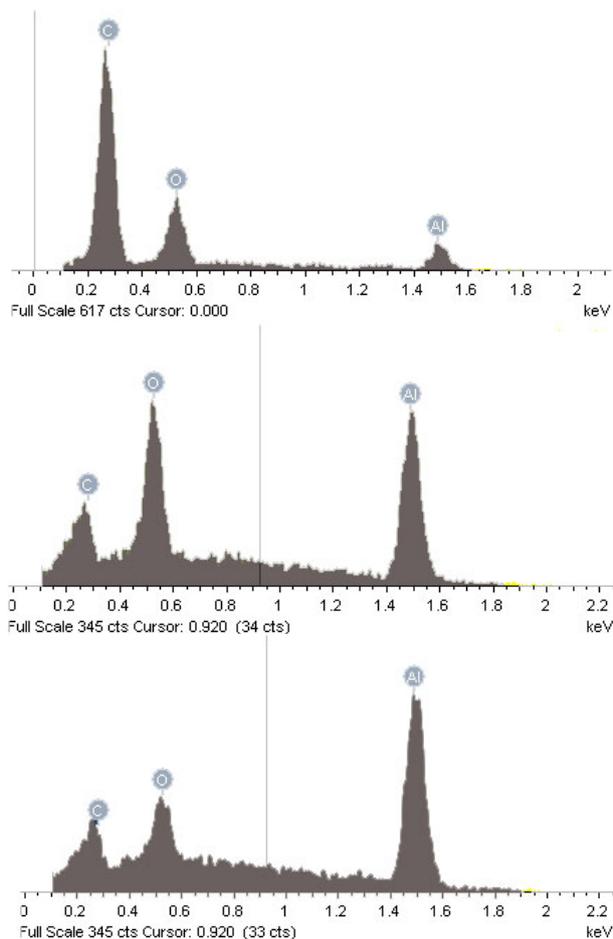


Рис.5.10.4 Спектры флуоресценции при $E_0=2$ кВ. Вверху - ручная мойка бензином и спиртом, посередине - ультразвук. Моющее средство NGL 17.40, $T=50^\circ\text{C}$. Внизу - оксидная пленка снята шабером непосредственно перед измерением спектра.

Таблица 5.10.2 Основные результаты обработки поверхности образцов из Al сплава 6063.

N	Machining (dry milling)	Alcohol (slightly) by hand	Benzene + Alcohol by hand	Etching in NaOH, brightening in HNO_3	Detergent NGL 17.40, 9.7 p.p.l, 20 min, 50°C in ultrasonic bath at workshop	Detergent NGL 17.40, 9.7 p.p.l, 20 min, 50°C in ultrasonic bath at laboratory right before* EP-XRF analyze.	$\text{Cl}_2\text{C}-\text{ClICl}$ by hand	$\text{Cl}_2\text{C}-\text{ClICl}$ in ultrasonic bath, 20 min	Scratched right before* EP-XRF analyze.	Atomic Composition %		
										Carbon	Oxygen	Aluminium
0										46	16	38
										36	13	51
1										5	12	83
										3,7	13,5	82,8
4										4,5	8,3	82,8
										4	8,3	87,7
5						3				3,2	11,8	85
						3				3,5	12,3	84
5*									0,5	2,3	4,7	93
									0,5	2,7	5,3	92
6										14	14,5	71,5
										13,1	10,6	76,3
7										9,8	21,1	69,1
										Not measured		
8										7,5	11,8	80,7
										5,9	8,4	85,7
10						3				4	13,2	82,8
						3				3,4	13,8	82,8

5.10.3 Вакуумная система бустера NSLS-II

В ходе проектирования вакуумной системы бустера NSLS-II были решены следующие задачи:

1) влияние СИ на устойчивость вакуумных камер. Синхротронное излучение мощностью порядка 44 Вт/м (максимально в дефокусирующих магнитах), что приводит к неравномерному нагреву камеры в месте падения на 60 градусов Цельсия ($\Delta T = 62 \text{ }^\circ\text{C}$). Камера испытывает механические напряжения порядка 114,5 МПа при таком неравномерном нагреве при допустимых не более 150 МПа.

2) Десорбция под действием СИ. Расчеты показали, что, несмотря на импульсный режим работы бустера (скважность по интенсивности синхротронного излучения составляет 1/7 при частоте повторения 2 Гц), десорбция газа под действием СИ будет превосходить термическую десорбцию. На основании расчетов динамического давления определена структура вакуумной системы.

Давление остаточного газа после накопления интеграла тока порядка 1 А*ч должно быть не хуже 10^{-7} Торр. Обеспечение вакуума будет осуществляться при помощи магниторазрядных насосов (всего 72 насоса) фирмы Gamma Vacuum со скоростью откачки 45 л/с, расположенных, в среднем, на расстоянии 2,3 метра друг от друга.

В настоящее время закончено производство вакуумных камер для поворотных секций, а также камеры для DC септума, впускного и выпускного импульсных септумов. Отработана технология пайки BUMP камер.

Все вакуумные изделия проходили прогрев и вакуумные испытания: проверка на герметичность (натекание меньше 10^{-10} л*Торр/сек), снятие спектров остаточных газов и определение коэффициента термического газоотделения (не больше 10^{-12} л*Торр/сек/см²). На Рис.5.10.5 показан типичный спектр остаточного газа.

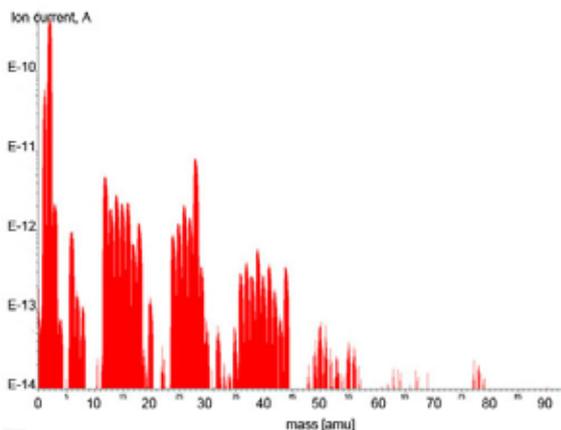


Рис.5.10.5 Спектр остаточных газов после прогрева.

5.10.4 Компенсатор для ускорительной структуры XFEL

В 2011 году в рамках международного проекта продолжены работы по проектированию и изготовлению вакуумных компонентов XFEL. Всего предстоит изготовить и произвести сборку более 3000 элементов различной степени сложности. Высокие требования к внутренней поверхности и геометрии вакуумных камер потребовали освоения новых технологий. Наиболее сложным, с технологической точки зрения, в 2011 году оказалось нанесение равномерного гальванического слоя меди на внутреннюю поверхность компенсаторов (сильфонные узлы, предназначенные для работы в жидком гелии) для линейного ускорителя XFEL. В результате совместных работ с ЭП2 и реализации технологических идей отделения гальваники ЭП2 достигнута однородность покрытия не хуже 1,2 (отношение толщин на гребне и внутри гофры сильфона) при высокой степени повторяемости качества покрытия. На рис.5.10.6 представлены прототипы компенсаторов. В 2012 году предстоит развернуть мелкосерийное производство и изготовить компенсаторы данного типа в количестве 850 шт.



Рис.5.10.6 Компенсатор ускорительной структуры XFEL.

5.11 Работы по электрон-позитронным фабрикам и физике пучков

В 2011 году было выполнено две работы.

Уже давно при чтении лекций по курсу «Коллективные эффекты в физике пучков» ощущалось некоторое неудобство, связанное с укороченным изложением в изданном в 1996 году учебном пособии Д.В. Пестрикова «Лекции по когерентным колебаниям» (НГУ, 1996) вопросов о неустойчивости когерентных колебаний встречных пучков. Устраняя эти недочеты, в 2011 году Н.С. Диканский и Д.В. Пестриков выпустили учебное пособие: «Когерентные колебания встречных сгустков» (РИЦ НГУ, 2011). Помимо систематического и подробного изложения когерентных эффектов встречи в накопителях пособие позволяет ознакомить студентов с практическим применением как распространенных, так и более тонких приемов теории линейных когерентных колебаний для решения такого рода задач. В пособии подробно обсуждаются особенности действия затухания Ландау на когерентные колебания встречных пучков; в рамках упрощенной модели жестких сгустков обсуждаются особенности резонансных кривых когерентных колебаний встречных сгустков; обсуждаются особенности когерентных колебаний компенсированных встречных пучков.

Во второй работе мы исследовали подавление когерентных эффектов встречи при лобовом столкновении протяженных пучков. Согласно полученным результатам, действие эффекта усреднения возмущения в месте встречи может приводить к уменьшению инкрементов малых когерентных колебаний до 80% от их величины, вычисленной для коротких сгустков. Такое сокращение тем больше, чем боль-

ше номер мультипольности бетатронных когерентных колебаний. Для сгустков с плоским поперечным сечением перетяжка в месте встречи вертикальных огибающих сталкивающихся сгустков приводит к усилению инкрементов когерентных колебаний длинных сгустков. Поскольку светимость коллайдера уменьшается с увеличением длин сталкивающихся сгустков, вычисления инкрементов для областей, в которых длины сгустков сильно превышают значения вертикальных бета-функций в месте встречи, представляют лишь академический интерес.

В дополнение к подавлению неустойчивости эффектом усреднения, перетяжка сгустков в месте встречи приводит к возбуждению в пучках неустойчивых синхробетатронных мод когерентных колебаний. Если значение параметра пространственного заряда сгустков превышает частоты малых синхротронных колебаний частиц, то возбуждение синхробетатронных мод сгустков сопровождается их связью. Эти два явления, вообще, увеличивают ширины запрещенных полос частот вблизи резонансов когерентных колебаний встречных пучков. Поэтому хотя неустойчивости встречных пучков становятся слабее, сеть запрещенных полос частот колебаний частиц становится более плотной по сравнению с вычисленной для коротких сгустков.

Эти результаты позволяют утверждать, что основные особенности действия эффекта усреднения на когерентные колебания встречных пучков вполне аналогичны тем, которые были найдены для некогерентных эффектов встречи.

5.12 Магниты для Super-B фабрики КЕК

Весной 2011 года проводились работы по испытанию конверсионного магнита и доработки генератора питания в рамках сотрудничества между КЕК и ИЯФ СО РАН. Они включали в себя доработку системы управления и компьютерного контроля генератора питания магнита. Также улучшена система контроля и мониторинга вакуума в камере конверсионного магнита. Цель работы заключалась в ресурсных испытаниях и доводке конверсионного магнита при работе совместно с близкорасположенным конвертером.

В рамках контракта между Тойотой Цешо, КЕК и ИЯФ СО РАН начались работы по изготовлению магнитов-корректоров для Супер Б-фабрики КЕК. В течение 2011 года проведено их конструирование и изготовление прототипов. Начато массовое производство их полной партии – 290 шт. Магниты включают два типа корректоров – вертикальные и горизонтальные

с апертурой 290 мм и 280 мм.

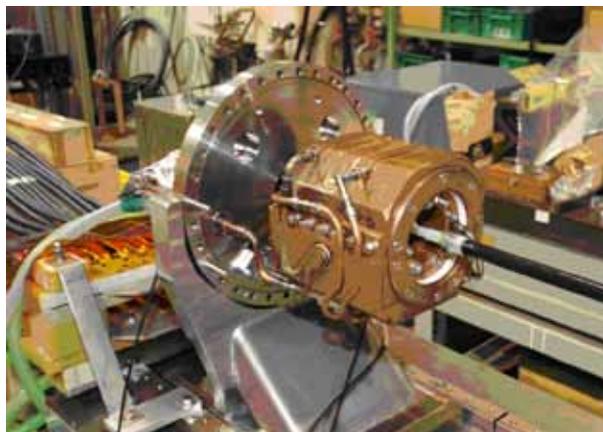


Рис. 5 12.1 Конверсионный магнит позитронного источника.

5.13 Бустер NSLS-II

Введение

В мае 2010 года был подписан контракт на создание бустера для синхротрона NSLS-II создаваемого в Brookhaven National Laboratory (BNL), USA. В сентябре 2010 заказчику был представлен Предварительный Дизайн. В январе 2011 года заказчику был представлен Окончательный Дизайн. В июле 2011 года заказчиком были приняты первые серийные изделия. Бустер должен быть собран у заказчика не позднее июля 2012 года. В феврале 2013 года работающий с требуемыми параметрами бустер должен быть сдан заказчику.

ИЯФ СО РАН должен спроектировать и изготовить магнитную систему, вакуумную систему, систему впуска-выпуска, диагностику, источники питания, а также разработать систему управления. ВЧ система поставляется BNL. Кроме того, ИЯФ СО РАН принимает участие в сборке и тестировании бустера в BNL. Также ИЯФ СО РАН отвечает за запуск бустера и получение требуемых параметров пучка.

Таблица 5.13.1. Проектные параметры бустера NSLS-II.

Периметр	158,4 м
Энергия впуска номинальная/минимальная	200 МэВ / 170 МэВ
Энергия выпуска номинальная/максимальная	3 ГэВ / 3,15 ГэВ
Частота повторения	1 или 2 Гц
Частота ВЧ	499,68 МГц \pm 10 кГц
Горизонтальный эмиттанс при 3 ГэВ	< 40 нм*рад
Разброс по импульсам на выпуске	< 0.1 %
Заряд (Режим длинного импульса/одиночного импульса)	> 10 нКл / 0,5 нКл
Эффективность переноса заряда от линака до основного кольца	> 75%
Время работы за год	6000 часов
Незапланированное время остановки	0,4 % (24 часа за год)

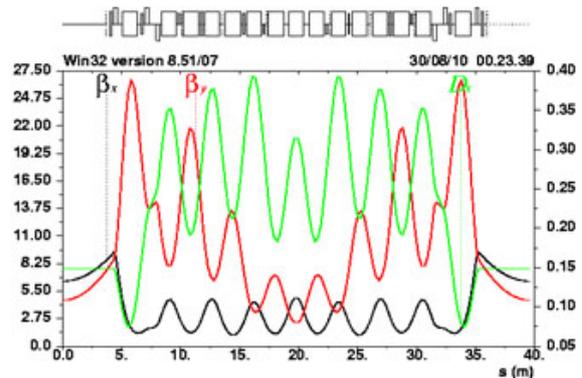


Рис. 5.13.1 Структурные функции $1/4$ бустера.

5.13.1 Дизайн

Проектирование бустера в целом, а также его элементов началось в июле 2010 года. К сентябрю 2010 года были разработаны предварительные чертежи, которые были представлены заказчику на PDR (Preliminary Design Review). К FDR (Final Design Review) в феврале 2011 года, проектирование основных элементов бустера было закончено и после одобрения заказчиком чертежи отданы в производство. Весной 2011 года основные усилия были приложены к согласованию с представителями BNL промежуточных впуска и выпуска, результатом этой деятельности явилось создание согласованных 3D моделей, которые были переданы заказчику в мае 2011 года. Последние узлы бустера спроектированы и отданы в производство в августе, после чего велись работы по завершению 3D модели бустера в целом. Модель передана заказчику в октябре 2011 года. В силу большого объема работы и сжатых сроков в проектировании бустера участвовало более тридцати сотрудников Научно-конструкторского отдела, что потребовало интеграции конструкций, разработанных разными конструкторами, в один большой проект.

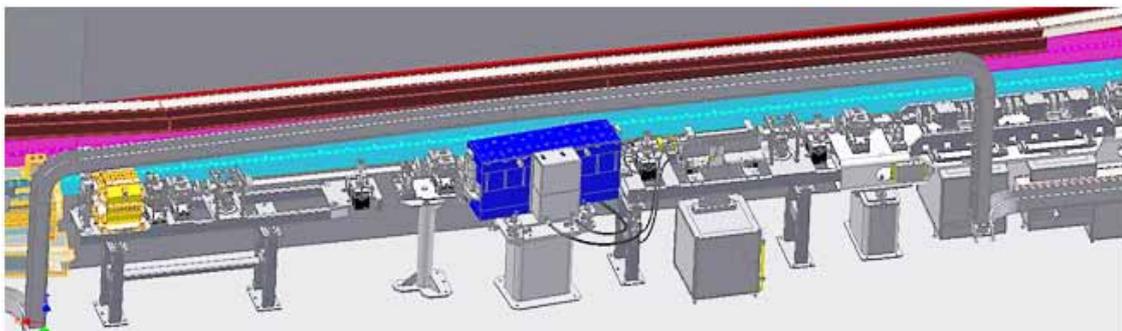


Рис.5.13.2. 3D интеграция моделей от многих конструкторов. Промежуток выпуска. 10 из 158 метров бустера.

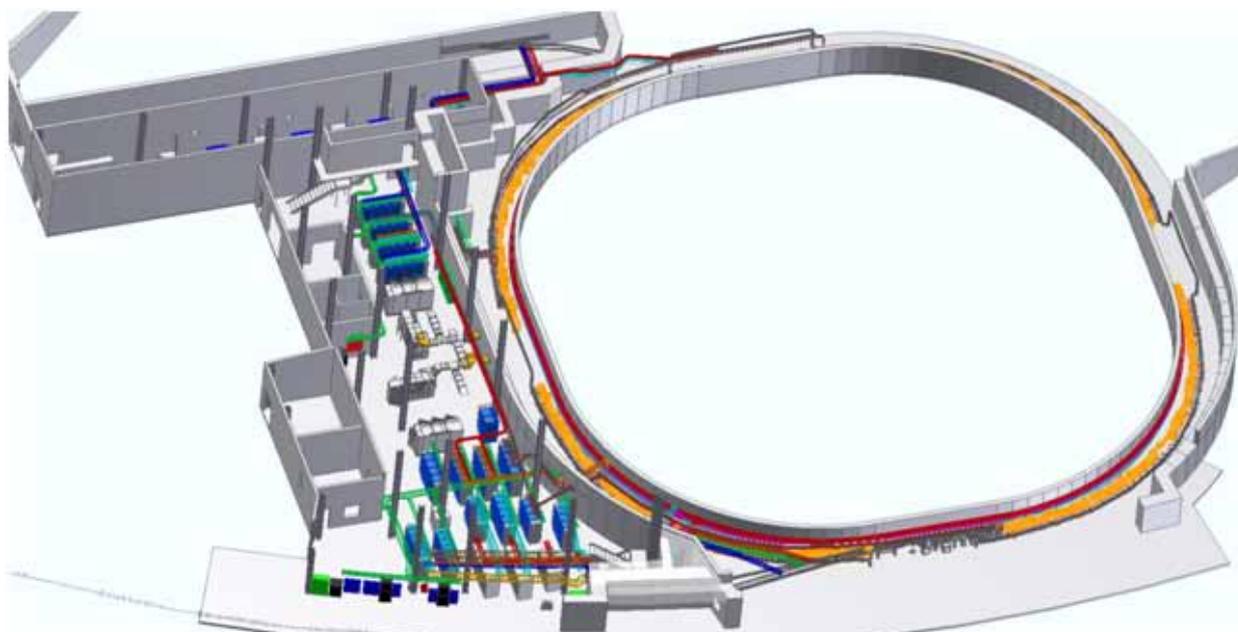


Рис.5.13.3 3D модель всего бустера NSLS-II.

5.13.2 Магнитная система

В магнитную систему входит 60 диполей двух типов, 24 квадруполя, 16 секступолей и 39 корректоров трех типов. Дипольные магниты имеют квадрупольную и секступольную компоненты. Для получения требуемых параметров качества поля в дипольных магнитах были спроектированы специальные краевые фаски (Рис.5.13.4). Все штампы были спроектированы и изготовлены в производстве ИЯФ СО РАН. Точность изготовленных пластин была не хуже 15 мкм, а на некоторых типах пластин была лучше 5 мкм. За 2011 год были изготовлены все квадруполи, секступоли и корректоры и половина диполей.



Рис.5.13.4 Окончательный вариант 3D-фаски на VD диполе.



Рис.5.13.5 Советник директора БНЛ по проекту Satoshi Ozaki инспектирует первые серийные корректоры и секступоли.



Рис.5.13.6 Для измерений квадруполей и секступолей были созданы дополнительные два стенда с вращающейся катушкой.



Рис.5.13.7 Для магнитных измерений диполей (рисунок сверху) БНЛ предоставил во временное пользование лазер-трекер и 1/4" немагнитные угольковые отражатели, которые были установлены на каретки с датчиками Холла для VD и VF диполей (рисунок снизу). Это позволило привязывать карты магнитных измерений к геошкалам диполей с точностью лучше 20 мкм.

5.13.3 Вакуумная система

Давление остаточного газа после накопления интеграла тока порядка $1 \text{ А} \cdot \text{ч}$ должно быть не хуже 10^{-7} торр. Обеспечение вакуума осуществляется при помощи магниторазрядных насосов (всего 72 насоса) со скоростью откачки 45 л/с, расположенных, в среднем, на расстоянии 2,3 метра друг от друга.

Был решен ряд важнейших задач, а именно:

а) влияние вихревых токов на десорбцию газов (влияние незначительно, поскольку камера нагревается за счет вихревых токов на $3 \text{ }^\circ\text{C}$);

б) влияние СИ на устойчивость вакуумных камер. Синхротронное излучение мощностью порядка 44 Вт/м (максимально в дефокусирующих магнитах), что приводит к неравномерному нагреву камеры в месте падения на 60 градусов Цельсия ($\Delta T = 62 \text{ }^\circ\text{C}$). Камера испытывает механические напряжения порядка 114,5 МПа при таком неравномерном нагреве при допустимых не более 150 МПа;

в) влияние СИ на десорбцию газов. Расчеты показали, что, несмотря на импульсный режим работы бустера (скважность по интенсивности синхротронного излучения составляет 1/7 при частоте повторения 2 Гц), десорбция газа под действием СИ будет превосходить термическую десорбцию. На Рис.10.8. показан пример расчета для одного из прямолинейных промежутков.

Все вакуумные изделия проходили прогрев и вакуумные испытания (проверка на герметичность (натекание меньше 10^{-10} л*Торр/сек), снятие спектров остаточных газов и определение коэффициента термического газоотделения (не больше 10^{-12} л*Торр/сек/см²).

В 2011 году суммарно было сделано около 100 из 150 метров (Рис.5.13.9). Отработана технология пайки камер с ребрами жесткости для бамп-магнитов (Рис.5.13.10).

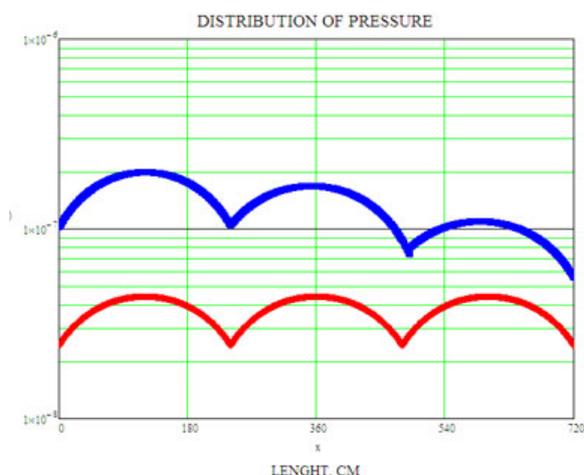


Рис.5.13.8 Распределение давления, вызванное только термической десорбцией и при наличии СИ.



Рис.5.13.9 Готовые вакуумные камеры. Каждая на два диполя и имеет пикап.

5.13.4 Диагностика

Для диагностики пучка в бустере NSLS-II будет использоваться следующее оборудование:

Устройство	Измеряемые параметры пучка	Кол-во
Электростатические пикапы	Орбита пучка, структурные функции	37
DCCT	Средний ток пучка, время жизни	1
FCT	Распределение тока пучка по сгусткам	1
Люминофорные датчики	Однопролетное изображение пучка	6
Порты вывода СИ	Поперечные размеры пучка	2
Система измерения частот	Бетатронные частоты	1

В 2011 году была проделана основная работа по разработке и изготовлению электростатических пикапов, системы измерения бетатронных частот и средств оптической диагностики пучка – люминофорных датчиков и портов вывода СИ.

Конструкция электростатических пикапов была разработана на основе расчетов, проведенных как с помощью приближенных аналитических формул, так и с помощью численного моделирования электромагнитных полей. Пикап-электроды с вакуумными вводами взяты от MPF Products. Изготовление корпусов пикапов, сборка, а также вакуумные и электрические измерения проведены в ИЯФ СО РАН в 2011 году.

Система измерения бетатронных частот, включающая электронику для возбуждения колебаний пучка, электронику для обработки сигнала, пикап и кикер на полосковых линиях, а также программное обеспечение, полностью разработана и изготовлена в ИЯФ СО РАН. Параметры системы позволяют проводить измерения бетатронных частот в процессе ускорения пучка в бустере, точность измерений – не хуже 0,0005, время одного измерения – около 1 мс. Прототип системы был испытан с пучком на установке ВЭПП-3.

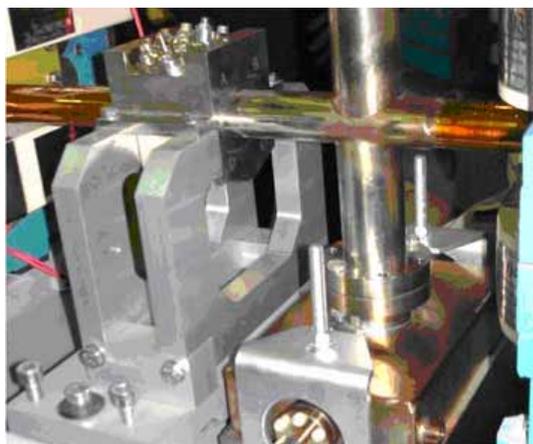
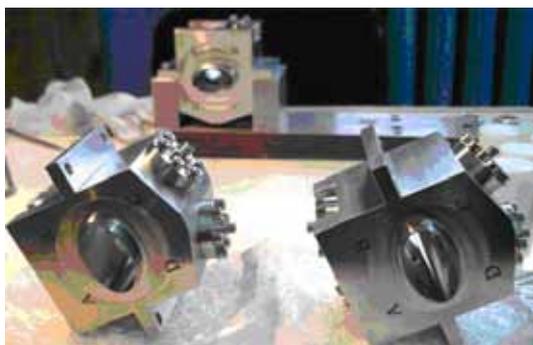


Рис.5.13.10 Корпуса пикапов (вверху) и собранный пикап на гирдере (внизу).



Рис.5.13.11 Полосковый пикап (вверху) и электроника системы измерения бетатронных частот (внизу).

Конструкция люминофорных датчиков и портов вывода СИ разработана в ИЯФ СО РАН. Для ввода люминофорных экранов в вакуумную камеру используется дистанционно управляемый пневматический привод. Прецизионная подстройка зеркал, направляющих выведен-

ный пучок СИ на приемник, осуществляется электромеханическими приводами. Для регистрации света применены ПЗС камеры Prosilica GC1290. Блоки зеркал вывода СИ прошли процедуру прогрева и вакуумные испытания. Готовность люминофорных датчиков в настоящее время составляет около 70%. Для измерения интенсивности пучка были закуплены датчик среднего тока пучка Bergoz DCCT и быстрый датчик тока пучка Bergoz FCT. Характеристики датчиков тока пучка измерены в BNL.

5.13.5 Модульная сборка бустерного кольца в ИЯФ СО РАН

Регулярная часть кольца бустера поставляется в виде гирдерных сборок. Гирдер представляет собой конструкцию, в основе которой заложен стальной профиль прямоугольного сечения размерами 500x300 мм, с толщиной стенки 16 мм, в который интегрированы детали, обеспечивающие необходимую жесткость конструкции, высокоточное позиционирование и закрепление магнитных элементов и гирдерной сборки в целом. Гирдеры изготавливаются по чертежам ИЯФ СО РАН на опытном заводе филиала ИТПМ СО РАН. Гирдерная сборка – это выставленные в проектное положение магнитные элементы на гирдере с вложенной вакуумной камерой с пикапами.

В декабре были поставлены в БНЛ пьедесталы под гирдерные сборки на все четыре арки и отправлены пять гирдерных сборок.

5.13.6 Источники питания

Источники питания дипольных магнитов (BF и BD) поставляются компанией Danfysik. Разработка и производство источников проведены под контролем ИЯФ СО РАН. К концу 2011 года производство завершено и начаты испытания. Для динамических испытаний дипольных магнитов в ИЯФ СО РАН разработан, изготовлен и испытан источник, обеспечивающий "1-cos" форму тока с частотой 1-2 Гц и максимальным током до 750 А (Рис.5.13.12.).

Разработаны и изготовлены 56 источников питания корректирующих и секstupольных магнитов с параметрами 6 А, 60 В в формате 19" крейтов (8 каналов питания на крейт). На Рис.5.13.13.

Разработаны и изготовлены три источника питания с током до 200 А и напряжением до 200 В для квадрупольных магнитов (Рис.5.13.14), а также источник с током до 500 А и напряжением до 12 В для ДС "септум магнита" (Рис.5.13.13).

Разработаны и изготовлены генераторы для импульсных "септум магнитов" и "бамп магнитов" с импульсными токами до 10 кА.



Рис.5.13.12 Источники питания дипольных магнитов ВД сверху. Источник питания для динамических испытаний в ИЯФ внизу.



Рис.5.13.13 Источник питания ДС "септум магнита".



Рис.5.13.14 Источники питания квадрупольных магнитов (вверху). Источники питания корректирующих и "секступольных магнитов" (внизу).

5.13.7 Система впуска - выпуска.

Впуск в бустер и выпуск - однооборотные в горизонтальной плоскости. Из линака впускается цуг длительностью 300 нсек, содержащий до 150 сгустков. Для реализации впуска в бустер и выпуска из него используются импульсные "септум магниты" и ферритовые кикеры, расположенные вне вакуума. В магниты встроены тонкостенные вакуумные камеры из нержавеющей стали, а в кикеры – керамические вакуумные камеры.

Разовый впуск в бустер осуществляется с помощью импульсного "септум магнита" и двух ферритовых кикеров. Предусмотрена возможность накопления пучка в бустере. С этой целью во впускном промежутке установлено два дополнительных кикера. Четыре кикера отклоняют орбиту циркулирующего пучка таким образом, чтобы на азимуте впуска расстояние между циркулирующим и инжектируемым пучками было минимальным. Кикеры выполнены в виде модулей. На впуске это четыре отдельно стоящих модуля со своим источником питания. На выпуске – четыре последовательно стоящих модуля, запитанных от двух источников.

В выпуске из бустера участвуют четыре "бамп магнита", выпускной ферритовый кикер, импульсный септум и С-образный "септум магнит" с постоянным полем.

"Бамп магниты" медленно, за 0,75 мсек подводят пучок к носику импульсного магнита, а ударом кикера пучок выводится в апертуру импульсного септума и далее в "DC септум".

Все перечисленные выше элементы были изготовлены в институте в течение 2011 года и начата работа по их тестированию.

Особенностью данной системы являются достаточно жесткие требования на стабильность поля в магнитах. Для выпускного кикера требование на стабильность амплитуды и однородность поля на полочке длительностью 300 нсек не должны превышать $\pm 0,2\%$. Для импульсного и DC септумов стабильность поля должна быть не хуже чем $\pm 0,02\%$.

Для измерения импульсных элементов - "бамп магнитов", "септум магнитов" и кикеров - был создан специализированный стенд (Рис.5.13.15).

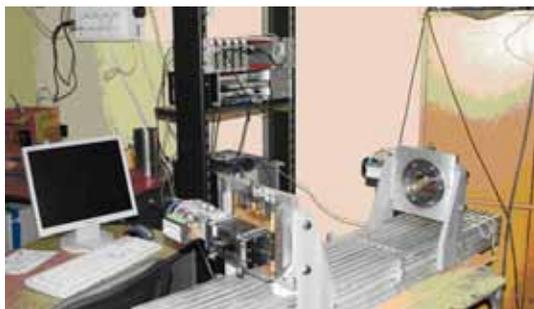


Рис.5.13.15 Стенд для импульсных магнитных измерений.

На стенде были выполнены измерения выпускного "септум магнита" (Рис.5.13.16) и проверена стабильность поля при работе от реального генератора на частоте 2 Гц. Требования на стабильность выполнены, характеристики магнитного поля удовлетворяют техническим требованиям. С впускным "септум магнитом" (Рис.5.13.17) проводится цикл магнитных измерений.



Рис.5.13.16 Выпускной "септум магнит" с вакуумной камерой (вид сверху).



Рис.5.13.17 Впускной "септум магнит" на измерительном стенде.

Были проведены измерения "бамп магнитов", с использованием модели вакуумной камеры. Предстоят измерения "бамп магнитов" уже с реальными вакуумными камерами, две из которых к настоящему моменту готовы (Рис.5.13.18).

Впервые в институте были изготовлены ферритовые кикеры со встроенной керамической вакуумной камерой. Для замыкания токов изображения пучка внутри камеры нанесено покрытие из нитрида титана толщиной 4 мкм. Покрытие выполнено в виде полосок шириной 3,5 мм (Рис.5.13.18).

Крайне жесткие требования, предъявляемые к стабильности поля в кикерах, фактически ни на одном из ускорителей пока не были реализованы. Обычно это уровень порядка 1%. Поэтому сейчас на стенде ведутся интенсивные работы по отладке систем измерения и источников питания для достижения требуемых параметров (Рис.5.13.18).

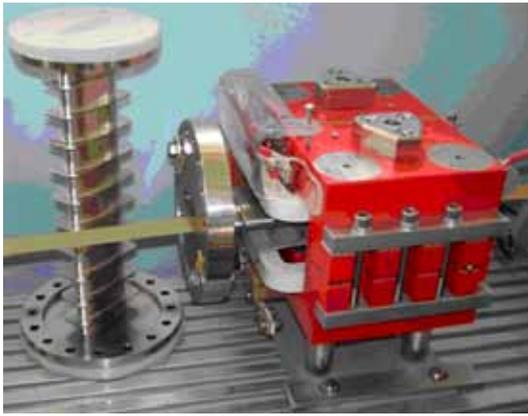


Рис.5.13.18 Тонкостенная вакуумная камера "бамп магнита" с ребрами жесткости и "бамп магнит" на измерительном стенде (вверху). Генератор импульсного питания "бамп магнитов" (внизу).



Рис.5.13.20 Ферритовый кикер без камеры и модулятор на измерительном стенде (внизу). Блок зарядного устройства модулятора кикера (вверху).

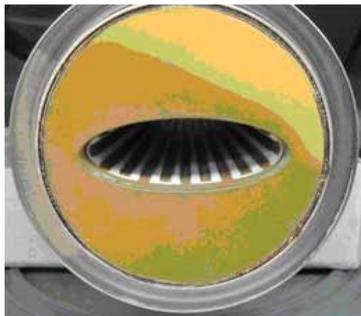


Рис.5.13.19 Керамическая вакуумная камера со стриповым покрытием.

5.13.8 Система управления

Система управления бустера функционально делится на несколько частей:

- управление магнитной системой бустера обеспечивает циркуляцию инжектированного и ускоряемого пучка в кольце синхротрона,
- управление импульсными магнитами обеспечивает инжекцию на энергии 200 МэВ и выпуск ускоренного пучка на энергии 3 ГэВ,
- система мониторинга вакуума и управления вакуумными устройствами обеспечивает получение и поддержание необходимого вакуума в кольце бустера,
- мониторинг устройств диагностики пучка обеспечивает измерение различных параметров пучка,
- система мониторинга блокировок поддерживает безопасную и безаварийную работу источников питания, постоянных и импульсных магнитных элементов бустера,
- система синхронизации обеспечивает взаимную синхронизацию работы всех подсистем

бустера во время цикла ускорения, а также привязку ускоренного пучка к пучку, циркулирующему в основном кольце NSLS-II.

При разработке системы управления бустера учитывались требования на максимальную совместимость используемого оборудования с оборудованием, применяемым для управления основным кольцом NSLS-II и каналами транспортировки. Кроме электроники широко известных фирм (Agilent, ISC, GE, IBM, Emerson, Allen Bradley) для системы управления бустера использованы блоки электроники разработки BNL: комплект для распределенного управления источниками питания PSC-PSI, а также контроллер для обработки сигналов с пикап-станций. В системе управления для интеграции электроники используются различные шинные конструктивы: VME, сPCI, шасси Евромеханика, PLC.

Для обеспечения требуемой стабилизации работы импульсных систем впуска-выпуска предполагается использовать аналого-цифровые преобразователи разработки ИЯФ СО РАН: 200 МГц преобразователь ADC200, а также уникальный интегратор входного сигнала VsDC3.

Связь и синхронизация между процессорами, контроллерами и различными устройствами системы управления осуществляется по 1 Gb Ethernet, а также по оптическим линиям с пропускной способностью до 125 Мбайт/сек. Блок-диаграмма компьютеров и электроники системы управления бустера представлена на Рис.5.13.21.

Дизайн программного обеспечения систе-

мы управления бустера выполнен на базе системы EPICS, широко используемой в мире для управления ускорительными комплексами. EPICS используется для управления основным кольцом NSLS-II, поэтому для системы управления бустером по требованию заказчика планируется использовать многие программные наработки для основного кольца, в частности, операторские интерфейсы для управления вакуумом, для диагностики пучка.

В конце 2010 – начале 2011 года был выполнен окончательный проект системы управления: определен состав и количество, а также выполнена закупка компьютеров и блоков электроники, выработаны технические спецификации на программное обеспечение контроллеров управления магнитной системой (PSC-PSI), определены все детали системы управления вакуумом.

В течение 2011 года в ИЯФ СО РАН был собран стенд для создания и отработки программного обеспечения, включающий полный набор оборудования, входящего в систему управления (Рис.5.13.22). Начата разработка программ для обеспечения проведения испытаний источников питания. Параллельно велась работа по проверке и отладке программного обеспечения контроллеров управления магнитной системой.

К концу 2011 года был собран, протестирован и отправлен в BNL первый комплект PLC для управления вакуумной системой канала транспортировки пучка из линака в бустер (Рис.5.13.23). В настоящее время этот комплект успешно запущен в эксплуатацию в BNL.

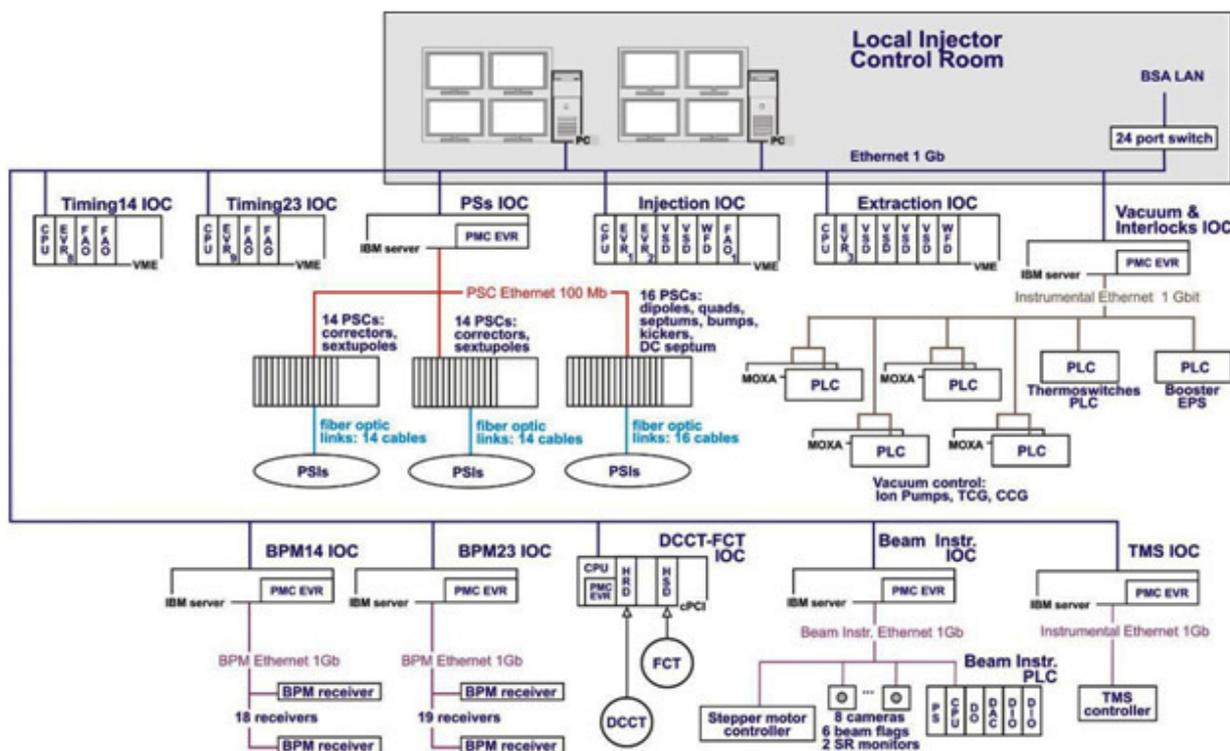


Рис.5.13.21 Блок-диаграмма системы управления бустера NSLS-II.



Рис.5.13.22 Аппаратура для управления источниками питания.



Рис.5.13.23 Шасси с PLC для управления вакуумом канала транспортировки пучка линак- бустер.

В течение 2011 года велись следующие работы по созданию программ для управления бустером: разработка баз данных для управления источниками питания и синхронизации, создание программ для работы с электроникой для диагностики пучка, разработка программ для управления вакуумной системой.

6

**Синхронное
излучение и лазеры
на свободных
электронах**

6.1. Введение

На базе установок и лабораторий Института Ядерной Физики СО РАН функционирует уже более тридцати лет центр коллективного пользования Сибирский Центр Синхротронного и Терагерцового Излучения (СЦСТИ).

Направление с использованием «Синхротронного излучения» включают в себя работы на пучках синхротронного излучения (СИ) из накопителей ВЭПП-3 и ВЭПП-4, разработку и создание систем для генерации СИ для российских и зарубежных центров.

Другое направление – «терагерцовое излучение», включает в себя работы с использованием излучения из Новосибирского лазера на свободных электронах (ЛСЭ) (в диапазонах 110-240 мкм и 40-120 мкм), дальнейшее развитие Новосибирского ЛСЭ и участие в зарубежных проектах по данной тематике.

Кроме того, в программе центра ведется обучение и профессиональная подготовка студентов и аспирантов.

Для проведения работ на пучках СИ из накопителя ВЭПП-3 в 2011 году было выделено 2028 часов (в 2010 году – 1220 часов) и 180 часов на ВЭПП-4 (в 2010 году – 294 часа). В экспериментах были задействованы 10 станций на 7 каналах вывода СИ из накопителя ВЭПП-3 и 2 станции СИ из ВЭПП-4.

В 2011 году Новосибирский ЛСЭ работал на пользователей около 1000 часов. Одной из двух основных задач 2011 года была организация регулярных работ на шести рабочих станциях пользователей. Второй задачей был подготовка к запуску третьей очереди Новосибирского ЛСЭ.

На станциях проводили работы исследовательские группы более чем из 50 институтов и других организаций.

6.2. Работы на СИ из ВЭПП-3

6.2.1. Станция – «ВЗРЫВ» (Экстремальные состояния вещества)

Станция «Взрыв (Экстремальные состояния вещества)» предназначена для регистрации проходящего излучения и малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) при исследовании детонационных и ударно-волновых процессов.

Участвующие организации:

- Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск;
- Российский федеральный ядерный центр "Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики" (РФЯЦ ВНИИТФ), Снежинск;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск;

- Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск.

В 2011 году работы проводились при финансовой поддержке проектов: Интеграционный проект СО РАН № 11; Комплексная программа научных исследований президиума РАН: «Теплофизика и механика экстремальных энергетических воздействий и физика сильно сжатого вещества» № 2-9; РФФИ 08-03-00588-а; РФФИ 10-08-00859-а.

Примеры выполненных работ.

Исследование динамики образования наночастиц конденсированной фазы во время детонации новых взрывчатых веществ на основе ТАТБ на станции СИ ВЭПП-3 «Взрыв» методом скоростного малоуглового рассеяния.

Проведены эксперименты по регистрации МУРР СИ при детонации взрывчатых веществ (ВВ) на основе 1,3,5-триамино-2,4,6-тринитробензола (ТАТБ) с добавками графита и наноалмазов.

Анализ данных для ТАТБ с графитом показал, что сразу за фронтом детонации фиксируются наночастицы размером ~ 4-5 нм преимущественно из графита. Сравнение сигналов МУРР у ТАТБ и смесей ТАТБ/Графит показывает, что в продуктах детонации ТАТБ конденсация углерода происходит в графитовую фазу. Размер зарегистрированных наноалмазов не превышает ~ 2 нм. Одной из причин отсутствия больших наноалмазов в ТАТБ может служить их разложение (сгорание) в продуктах взрыва. Данные для смесей ТАТБ с наноалмазами показывают, что фиксируется сигнал МУРР от введенных в заряд ультра дисперсных наноалмазов (УДА). Сигнал от конденсированных наночастиц при детонации ТАТБ мал по сравнению с сигналом от введенных УДА.

Для получения данных о размерах рассеивающих частиц сигналы МУРР обрабатывались при помощи разработанной нами методики, включающей пакет специальных компьютерных программ. При этом предполагалось, что частицы сферичны и равномерно распределены в однородной среде. Полученная с учетом калибровки эволюция размеров частиц в экспериментах с образцами ТАТБ/Графит, ТАТБ/УДА отражена на рис.6.2.1, где момент времени $t=0$ соответствует прохождению детонационного фронта. На рис.6.2.2 представлены графики изменения интегрального (во все углы) потока МУРР для этих же ВВ. Из графиков видно, что добавка наноалмазов (полученных взрывным способом с размерами ~ 5 нм) не приводит к заметному росту размеров наночастиц за фронтом детонации. Параметры за фронтом детонации в ТАТБ не способствуют увеличению размеров уже введенных частиц.

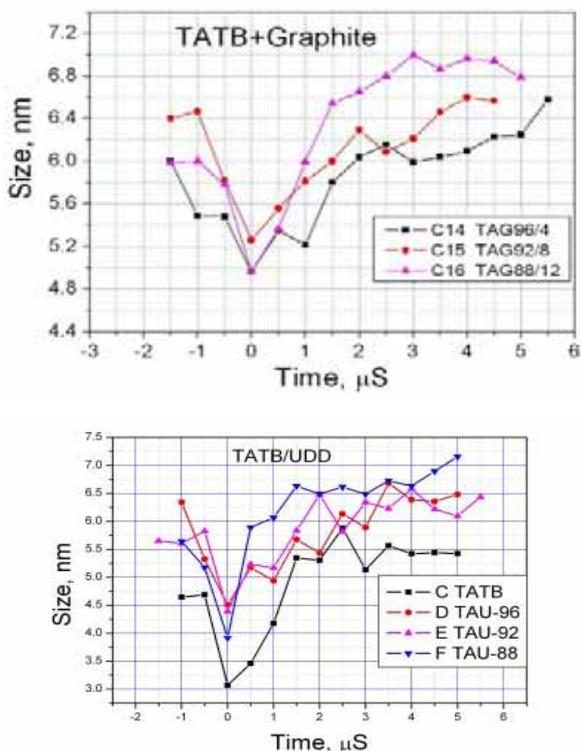


Рис.6.2.1. Динамика размеров наночастиц конденсированного углерода при детонации смесей ТАТБ с добавками графита (вверху) и УДА (внизу). Обозначения: TAG96/4 – ТАТБ 96%, графит 4% по весу.

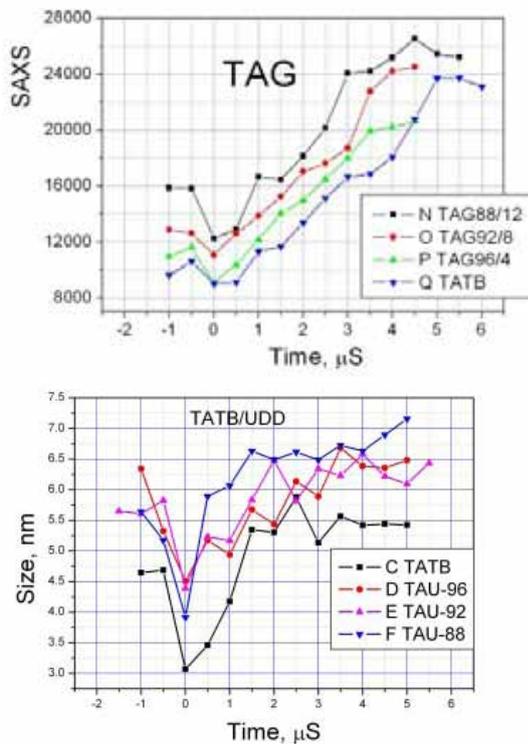


Рис.6.2.2. Зависимость интегрального МУРР от времени для составов ТАТБ/графит (вверху) и ТАТБ/УДА (внизу). Ноль времени соответствует прохождению

Данные по динамике интегрального МУРР (на рис.6.2.2 внизу) также показывают, что сигнал интегрального МУРР пропорционален начальному количеству введенных УДА. То есть, конденсированных во время взрыва наночастиц углерода (в алмазной форме) мало по сравнению с введенными.

Получена динамика размеров частиц конденсированного углерода при детонации БТФ. Размер частиц за фронтом детонации достигает 70 нм. Отсутствие водорода в БТФ приводит к более высокой температуре на фронте детонации.

На рис.6.2.3 приведены данные по росту размеров конденсированных наночастиц при детонации ТАТБ, ТГ50/50 и БТФ. Размер частиц у БТФ на порядок превосходит размер у ТГ50/50. Одно из объяснений этому может быть увеличение температуры на фронте детонации (к этому приводит отсутствие водорода в БТФ). Другие факторы, приводящие к столь значительному росту конденсируемых наночастиц, требуют дальнейшего исследования. Следует отметить, что размер ~ 70 нм является верхней границей нашей постановки экспериментов, так что конечный размер частиц может быть больше. Ранее уже отмечалось присутствие больших частиц в продуктах детонации БТФ.

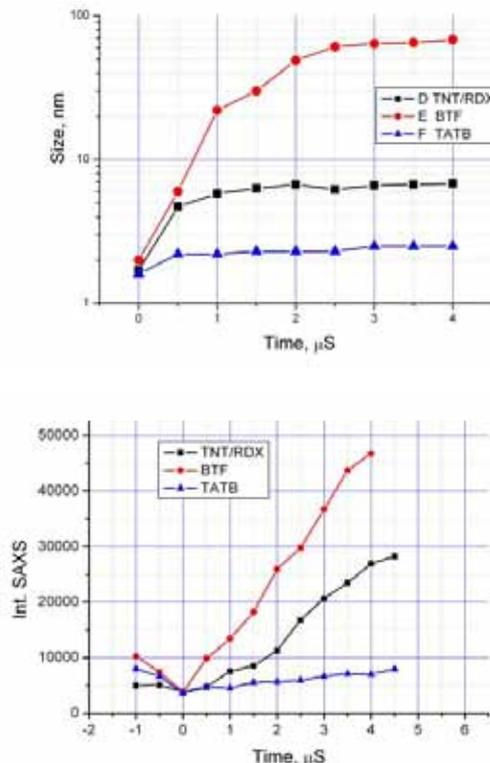


Рис.6.2.3. Данные по росту размеров конденсированных наночастиц при детонации ТАТБ, ТГ50/50 и БТФ.

6.2.2. Станция – «LIGA-технология и рентгеновская литография»

Станция предназначена для экспериментов по рентгеновской литографии в толстых резистивных слоях для изготовления микроструктур, в том числе рентгеношаблонов.

Участвующие организации:

- Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск;
- Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск;
- Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск;
- Институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СОРАН, Новосибирск.

В 2011 году работы проводились при финансовой поддержке проектов: Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 55 «Рентгеновские LIGA технологии синтеза 3D дифракционных структур»; Государственный контракт от 21 октября 2011 г. №16.513.11.3135 «Разработка экспериментального образца биоаналитического комплекса нового поколения на основе микро/нанофлюидных систем»; Государственный контракт от 29 августа 2011 № ОК-12-Р-ВК/2011 «Рентгенолучевой микролитограф».

В ходе выполнения ГК от 29 августа 2011 № ОК-12-Р-ВК/2011 выполнено дооснащение оборудования и программного обеспечения станции «LIGA» для реализации рентгенолучевого микролитографа.

Примеры выполненных работ.

Разработка технологий синтеза 3-х мерных оптических структур.

Разработан и реализован принципиально новый метод создания микроструктурированных трехмерных металлических пленочных сеточных структур-селективных элементов ИК и ТГц диапазона. Он основан на сочетании рентгенолитографического формирования микроструктур в толстых полимерных пленках (10-1000 мкм) и химического осаждения металлического серебра на всей поверхности полимера.

Глубокая рентгенолитография со сканированием образца с шаблоном в пучке СИ была использована для сквозного микроструктурирования пленок майлара толщиной 10 мкм и листового ПММА толщиной 1 мм площадью 40x40 мм. На трехмерную поверхность сеточной структуры из ПММА в ИХТТМ СО РАН было проведено химическое осаждение серебра из раствора (Рис.6.2.4). Полученные таким образом трехмерные металлизированные пленки были испытаны в НГУ в качестве фильтров для излучения терагерцового диапазона. Оказалось, что такие трехмерные пленки обладают

свойствами близкими к толстым металлическим сеткам и представляют собой пример нового типа элементов оптики.

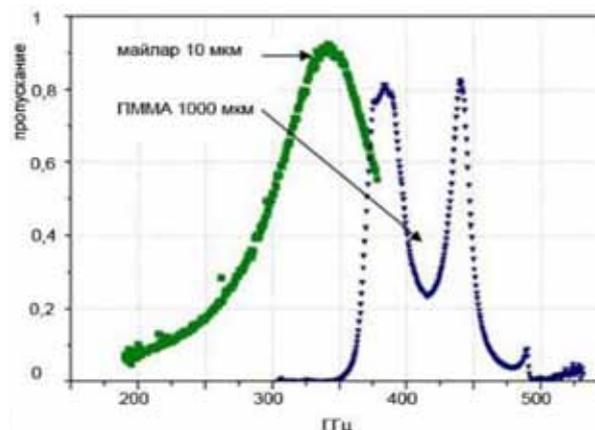
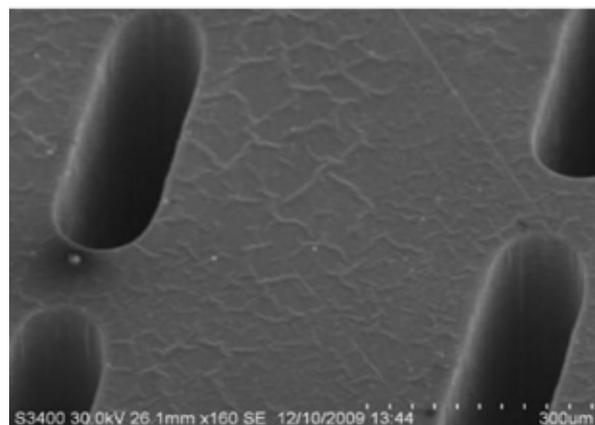


Рис.6.2.4. (вверх) Трехмерные серебряные пленочные сеточные фильтры для терагерцового излучения, изготовленные на микроструктурированной основе из ПММА толщиной 1 мм. (внизу) Измеренная спектральная зависимость пропускания этих фильтров. LIGA мастер-формы для репликации интраокулярных дифракционных преломляющих линз.

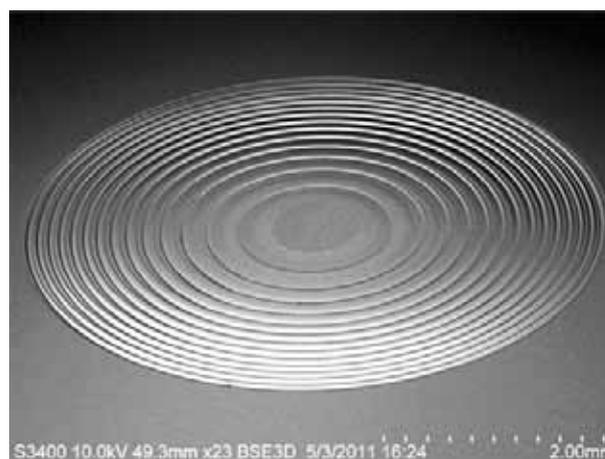


Рис.6.2.5 Фотография рентгенолитографической реплики в ПММА, полученная на сканирующем электронном микроскопе. Глубина рельефных структур 5-25 мкм. Толщина резистивного твердого слоя ПММА на кремниевой подложке 50 мкм.

Важной прикладной областью в дифракционной оптике является формирование металлических микроструктурированных матриц для репликации полимерных дифракционных элементов. Примером востребованных дифракционных элементов являются бифокальные дифракционные преломляющие интраокулярные линзы. Разработка литографических способов создания микроструктурированной рельефной поверхности оптического качества и процессов формирования мастер-форм для тиражирования линз методом формовки являлась задачей работ по выполнению совместного проекта с ИАиЭ СО РАН. В 2011 году в ИЯФ СО РАН разрабатывались LIGA технологии: рентгенолитография и электрохимическое никелирование – для репликации рельефных микроструктур интраокулярных линз.

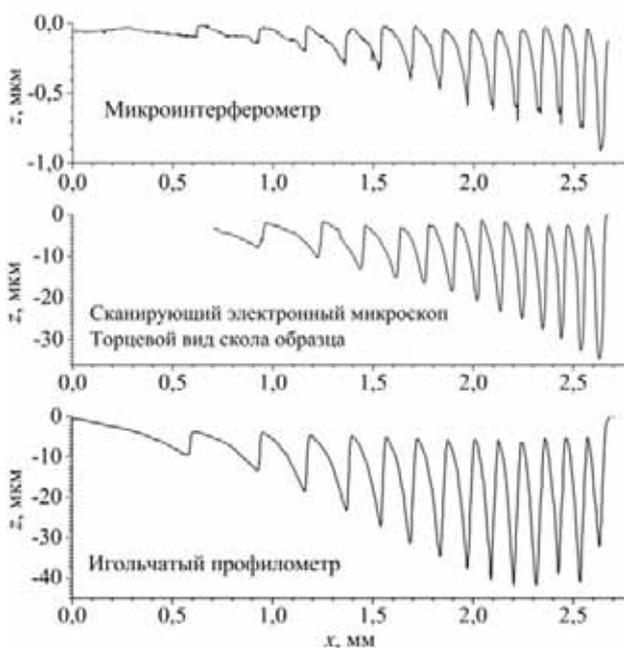


Рис.6.2.6. Радиальные профили различных реплик, полученных с использованием осесимметричного вращения при рентгенолитографическом облучении и измеренных разными методами.

Трехмерные микрорельефные сплошные гладкие оптические поверхности впервые были получены при использовании динамической осесимметричной рентгенолитографии в квази твердом слое ПММА, сформированного из резиста 950РММА с узким распределением молекулярных масс в отличие от листового полимера. Рентгенолитографические реплики, представленные на Рис.6.2.5 и 6.2.6, получены при вращении подложки относительно шаблона при юстировке оси вращения. При этом, в радиальных координатах, резист облучается дозой D , пропорциональной углу φ дуги в прозрачной зоне шаблона с коэффициентом, определяемым уравнением (6.2)1, а глубина профиля z опреде-

ляется функцией (6.2)2 скорости проявления полимерного слоя v , которая измеряется, как характеристическая, для резиста ПММА в виде уравнения (6.2)3, и временем проявления τ .

$$D(r) = k\varphi(r);$$

$$k = It \cdot \iint [e^{-\mu_i(\lambda)d_i} \cdot \mu(\lambda)e^{-\mu(\lambda)z} d\lambda dz] \quad (6.2)1$$

где It – экспозиционная доза, включающая параметры источника синхротронного излучения и время экспозиции; $\mu_i(\lambda)$ и $\mu(\lambda)$ – табличные спектральные линейные коэффициенты поглощения материалов и сред с толщинами d_i , находящихся в пучке СИ до слоя резиста, и после слоя резиста, соответственно; z – координата вглубь резиста.

$$z(r) = v\tau = \tau Ak\varphi^B \quad (6.2)2$$

где A и B – эмпирические, постоянные величины.

$$v = AD^B \quad (6.2)3$$

Проведены измерения как характеристических параметров ПММА, так и профиля реплик, полученных методом динамической осесимметричной рентгенолитографии при вариации дозы облучения и времени проявления. Таким образом, разработана базовая функция технологических параметров для моделирования и дизайна любого профиля рельефной линзы, включая многофокусную интраокулярную линзу.

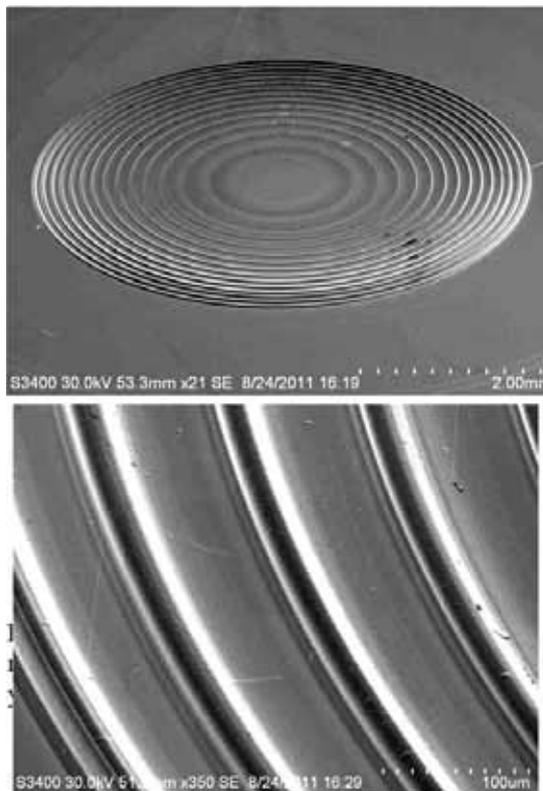


Рис.6.2.7 Никелевая гальваническая мастер-форма для репликации полимерных интраокулярных линз (справа – рельефная поверхность, наблюдаемая при большом увеличении сканирующего электронного микроскопа).

Поскольку массовым технологичным способом изготовления полимерных изделий является формовка, разработана и создана гальваническая ванна для никелирования рентгенолитографических реплик и изготовления никелевых форм. Процесс гальванопластики оптимизирован по плотности тока, по конструкции анода и катода так, чтобы при средней скорости осаждения никеля около 1 мкм/мин получать плоские никелевые толстые формы с минимальными внутренними напряжениями. Золотой гальванический подслоя позволяет легко отделять полимерную реплику от никелевой формы благодаря слабой адгезии к полимерам. Та же золотая поверхность никелевой формы упрощает процесс отделения полимерного изделия при его формовке (Рис.6.2.7).

Созданные реплики рельефных линз из ПММА и никеля обладают качеством оптической чистой поверхности с шероховатостью $Ra = 10 \div 30$ нм (Рис.6.2.8).

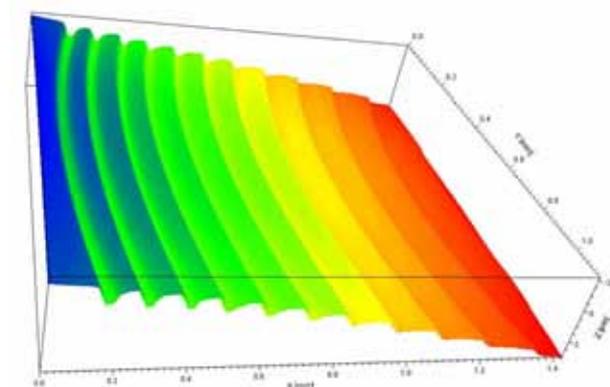


Рис.6.2.8 Поверхность никелевой формы рельефной линзы, отсканированная с помощью микроинтерферометра WLI. Шероховатость поверхности, измеренная как средне-квадратичное отклонение профиля, составляет около 10 нм.

6.2.3. Станции «Аномальное Рассеяние» и «Прецизионная Дифрактометрия»

Станция «Аномального рассеяния» предназначена для прецизионных исследований структуры поликристаллических материалов методами рентгеновской дифрактометрии с высоким угловым разрешением.

Выполненные эксперименты:

- Мезоструктурированные материалы;
- Кислород-проводящие материалы на основе кобальтитов стронция;
- Кислород-аккумулирующие материалы на основе кобальтитов редкоземельных металлов;
- Катализаторы углекислотной конверсии метана на основе интерметаллидов Fe_3Al ;
- Катализаторы на основе нанодисперсно-

го золота.

Станция «Прецизионной дифрактометрии» предназначена для исследований изменения структуры поликристаллических материалов под действием высоких температур и реакционных сред методами рентгеновской дифрактометрии с разрешением по времени.

Исследованные материалы:

- Кислород-проводящие материалы на основе кобальтитов стронция;
- Кислород-аккумулирующие материалы на основе кобальтитов редкоземельных металлов;
- Катализаторы углекислотной конверсии метана на основе интерметаллидов Fe_3Al ;
- Селективные сорбенты аммиака;
- Кобальт-содержащие катализаторы процессов Фишера-Тропша;
- Железо-кобальтовые катализаторы синтеза многостенных углеродных нанотрубок;
- Медно-никелевые катализаторы синтеза азот-содержащих углеродных нановолокон.

Участвующие организации:

- Институт катализа им.Г.К.Борескова СО РАН;
- Институт неорганической химии им.А.В.Николаева СО РАН;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН;
- Томский политехнический университет.

Некоторые исследования проводились с применением комплекса методов, включающего эксперименты на обеих станциях. Например, исследование катализаторов углекислотной конверсии метана на основе интерметаллидов никеля-алюминия и железа-алюминия до и после проведения реакции были выполнены на станции «Аномальное Рассеяние», а эксперименты In Situ изменения фазового состава и структуры катализаторов в условиях реакции осуществлялись на станции «Прецизионная Дифрактометрия». Аналогичному исследованию подвергались железо-кобальтовые катализаторы синтеза углеродных нанотрубок.

Примеры выполненных работ.

Селективные сорбенты аммиака.

Одним из перспективных направлений развития энергосберегающих технологий является разработка абсорбционных холодильных машин, в которых рабочим телом служил бы аммиак. Диапазон рабочих температур, эффективность и мощность аммиачных АХМ находятся в прямой зависимости от выбора сорбента. Идеальный сорбент аммиака для использования в АХМ должен обладать низкой температурой регенерации, высокой динамической емкостью в заданном диапазоне температур и давлений, термической и механической стабильностью. Традиционные адсорбенты (активные угли и

углеродные волокна) и хемосорбенты аммиака (неорганические соли) не отвечают одновременно всем этим требованиям и потому не могут быть оптимальным вариантом для каждого конкретного приложения АХМ. В связи с этим, актуальной задачей является синтез новых сорбционных материалов со свойствами, обеспечивающими наиболее эффективную работу холодильного устройства. Композиты «соль в пористой матрице» (КСПМ) являются перспективными материалами для применения в АХМ, так как использование неорганической соли дает принципиальную возможность получить материал с высокой сорбционной ёмкостью и низкой температурой регенерации, а пористая матрица препятствует агрегации соли в процессе поглощения аммиака и позволяет улучшить динамику сорбции.

В Институте катализа им.Г.Борескова СО РАН в течение долгого времени велись работы по исследованию селективных сорбентов воды на основе хлоридов щелочноземельных металлов, помещенных в пористую матрицу. Поскольку молекулы аммиака NH_3 и воды H_2O обладают схожими физическими характеристиками, было предложено использовать хлориды кальция, стронция и бария для создания КСПМ для абсорбции аммиака.

Из анализа литературы известно, что хлориды щелочноземельных металлов поглощают аммиак с образованием одно-, двух-, четырех- и восьмиаммиачных комплексов. Для композитных поглотителей паров воды и метанола известен эффект изменения сорбционных свойств соли при внесении ее в поры матрицы, поэтому вполне вероятно, что в реакциях с аммиаком для КСПМ также могут проявляться эффекты влияния матрицы-носителя на сорбционные свойства внесенной соли. Следовательно, сорбционное равновесие КСПМ с аммиаком требует детального исследования, причем не только абсорбционно-термодинамическими, но и структурными методами.

Исследование КСПМ рентгенодифракционными методами было выполнено на синхротронном излучении на станции «Прецизионная Дифрактометрия» с использованием однокоординатного детектора ОД-3М-350 и рентгеновской камеры-реактора ХРК-900 производства Anton Paar, Австрия. Камера позволяет производить рентгеновские измерения образца, находящегося в условиях реакционной среды в диапазоне температур от комнатной до 900°C и давлениях от 10^{-2} мбар до 10 бар. На Рис.6.2.9 представлены результаты эксперимента по исследованию изменений фазового состава хлорида кальция в пористой матрице $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Абсорбцию проводили при давлении 1,6 бар и комнатной температуре, а десорбцию - при $T=100^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении. Видно, что в процессе абсорбции и десорбции система проходит ряд

обратимых превращений. В процессе реакции зарегистрирована короткоживущая фаза четырехаммиачного комплекса, ранее рентгенографически не детектировавшаяся.

Эксперимент был также проведен с хлоридом бария в различных матрицах, при давлении аммиака ~ 5 бар была зарегистрирована фаза $\text{BaCl}_2 \cdot 8\text{NH}_3$ неизвестной структуры. На Рис.6.2.10 представлены рентгенограммы образца хлорида бария на вермикулите при нормальных условиях и в условиях давления аммиака. В настоящее время проводится определение структуры такого комплекса.

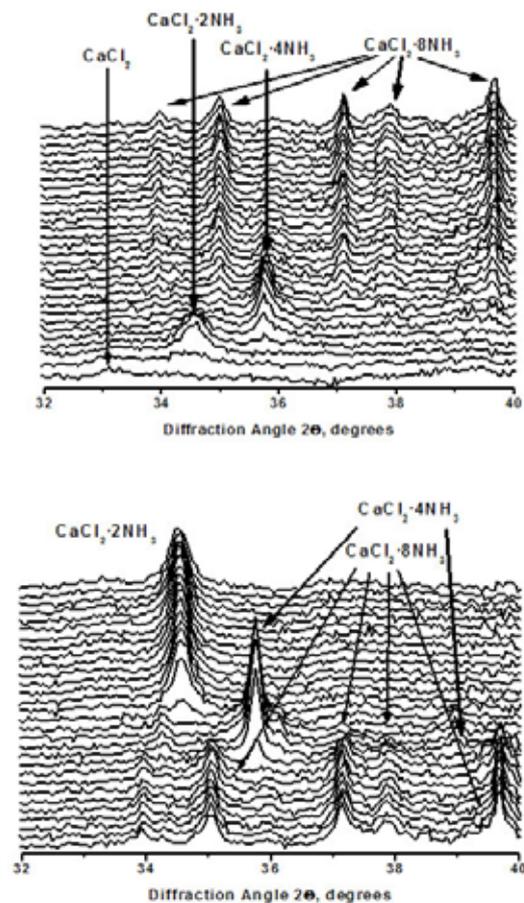


Рис.6.2.9 Изменение фазового состава хлорида кальция в процессе абсорбции (вверху) и десорбции (внизу) аммиака.

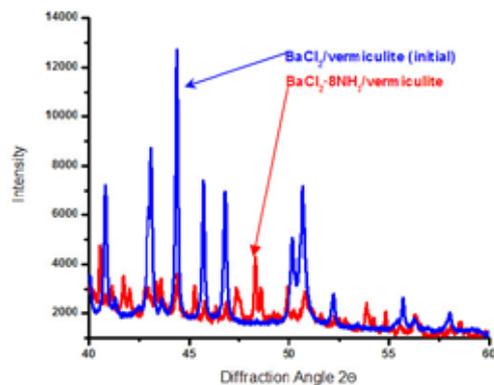


Рис.6.2.10. Рентгенограммы хлорида бария на вермикулите при нормальных условиях (синий) и при давлении аммиака ~ 5 атм (красный).

Кобальт-содержащие катализаторы процессов Фишера-Тропша.

Каталитический синтез олефинов (углеводородов с двойной связью), жидких углеводородов и церезинов (углеводородов с длинными разветвленными цепями) из обогащенного водородом синтез-газа (смеси водорода и монооксида углерода в разных соотношениях), получаемого переработкой природного или попутного нефтяного газа, наиболее эффективно осуществляется с использованием кобальтсодержащих катализаторов. В данной работе исследовано влияние способа приготовления на анионный состав и структуру гидроксосоединений – предшественников Co-Al катализаторов и их каталитические свойства в реакциях синтеза Фишера-Тропша. Исследована динамика изменения состава и структуры гидроксидных соединений-предшественников Co-Al катализаторов в процессах термической обработки и последующей активации с помощью различных физико-химических методов, в том числе рентгеновской дифракции In Situ с использованием синхротронного излучения. Показано, что соединения-предшественники, полученные методом нанесения осаждением катионов кобальта на γ - и δ - Al_2O_3 в условиях гидролиза мочевины, имеющие структуру типа гидроталькита, содержащие нитратные, карбонатные и гидроксильные группы, в процессе термической обработки в инертной среде превращаются в оксидные соединения со структурой шпинели, $\text{Co}_{3-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ ($0 < x < 2$). Водородная активация оксидного предшественника приводит к образованию частиц металлического кобальта через промежуточное образование фазы кобальт(II)-алюминиевого оксида. Катализатор характеризуется высокой активностью и избирательностью в отношении углеводородов C_5^+ в реакциях синтеза Фишера-Тропша.

Рентгенографическое исследование проведено на станции «Прецизионная Дифрактометрия» и воспроизводит все основные этапы приготовления и активации катализатора, исключая стадию осаждения из растворов и собственно реакции Фишера-Тропша. В данном случае требовалось получить частицы металлического кобальта или кобальт-алюминиевого сплава размером не более 5 нм для обеспечения высокой удельной поверхности активного компонента катализатора. Нагрев предшественника в инертной атмосфере и повышение температуры в процессе восстановления кобальта из оксида проводились медленно, со скоростью не более 2 °C/мин. При нагреве проявилась и исчезла промежуточная фаза неизвестного состава. На полученной серии рентгенограмм видно изменение фазового состава прекурсора в процессе нагрева до 250 °C в инертной атмосфере и последующего восстановления в атмосфере чистого водорода при росте температуры от

комнатной до 650 °C. Наблюдаются промежуточные фазы оксидов кобальта-алюминия (Al) Co_3O_4 и CoO , а также конечное металлическое состояние наночастиц кобальта-алюминия.

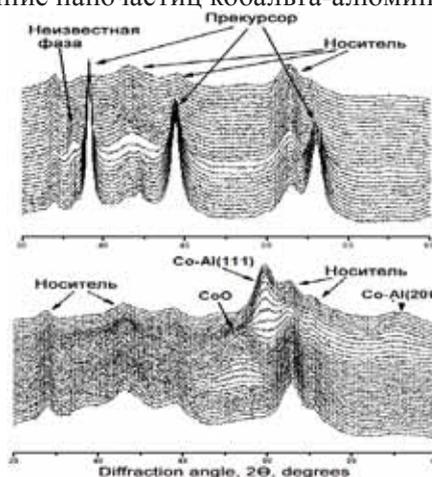


Рис.6.2.11. Рентгенограммы алюмокобальтового катализатора в процессе активации в инертной атмосфере (вверху) и восстановления в водороде (внизу).

Установление взаимосвязи состав - структура - кислород-ионная проводимость в классе кобальтитов $\text{R}\text{BaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ ($\text{R}=\text{Y}, \text{Dy-Lu}, \delta \sim 0, \delta \sim 1,5$).

Соединения $\text{R}\text{BaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ ($\text{R}=\text{Y}, \text{Dy-Lu}$) обладают уникальной способностью к поглощению и выделению кислорода. Обладая гексагональной плотноупакованной структурой, эти оксиды могут поглощать и отдавать до 1,5 формульных единиц кислорода при относительно низкой температуре (300-400 °C). О структурных изменениях, происходящих при их насыщении кислородом, известно крайне мало. Единственное экспериментальное определение структуры было осуществлено по данным высокоразрешающего нейтронного и синхротронного излучения для $\text{Y}\text{BaCo}_4\text{O}_{8.1}$. Было показано, что дополнительные ионы кислорода, входя в структуру, связываются с ионами кобальта, в результате чего в треугольных слоях половина ионов кобальта приобретает октаэдрическую координацию и образуются зигзагообразные цепочки кобальтовых октаэдров и оставшихся от прежней структуры тетраэдров. Пока неизвестно, подойдет ли предложенная структурная модель кобальтитам с редкоземельными катионами других размеров Yb, Lu, и для полностью насыщенных кислородом составов.

В ИНХ СО РАН синтезированы и максимально насыщены кислородом по специальной методике поликристаллические образцы $\text{R}\text{BaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$, разработана методика равновесного насыщения кислородом. Судя по предварительным рентгенографическим наблюдениям, для РЗЭ разных размеров можно ожидать разный ход структурных изменений при сорбции/десорбции кислорода.

Для решения поставленной задачи необходимо было провести исследование структурного характера превращения насыщенных кислородом поликристаллических образцов $R\text{BaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ ($R=\text{Y}, \text{Dy}, \text{Lu}$) с редкоземельными катионами разных размеров методом дифрактометрии *ex situ* и *in situ* при нагреве в воздушной атмосфере с применением СИ.

По результатам проведенных исследований установлено, что характер изменения структуры при насыщении кислородом сильно зависит от размера редкоземельного иона. В соединении $\text{YBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ переход между фазами с $x=0$ и $x=1,4-1,5$ происходит скачком с изменением структурной симметрии из орторомбической в гексагональную. В свою очередь, в $\text{LuBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ превращение осуществляется через промежуточную фазу и не приводит к изменению симметрии структуры, а параметры элементарной ячейки изменяются в направлениях, противоположных наблюдаемым для иттриевого образца.

На Рис.6.2.12 представлены рентгенограммы образцов $\text{YBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ (а) и $\text{LuBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ (б) в процессе нагрева от комнатной температуры до 500°C .

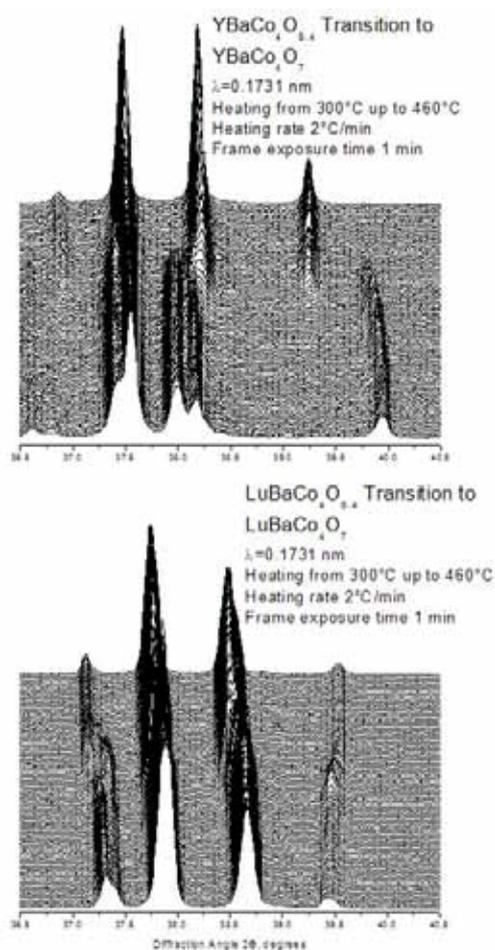


Рис.6.2.12. Фрагменты рентгенограмм образцов $\text{YBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ и $\text{LuBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ в процессе нагрева. Фазовый переход, обусловленный потерей кислорода.

Изменение фазового состава Ni-Cu катализатора в процессе роста азот-содержащих углеродных нановолокон.

Селективный синтез углеродных нанотрубок (УНТ) и нановолокон (УНВ) с заданным типом структуры и определенными физико-химическими свойствами является важным направлением нанотехнологии в связи с широкой областью возможных практических приложений таких материалов в химии, материаловедении, нанoeлектронике, медицине и т.д. Особое внимание уделяется поиску возможностей точного регулирования физических и химических свойств углеродных композитов для целенаправленного синтеза функциональных материалов с заданными характеристиками. Одним из возможных подходов является модифицирование углеродной структуры гетероатомами (N, B, F, Si) или декорирование углеродного материала металлами (Pt, Pd, Fe, Co, Ti и так далее).

Среди различных методов синтеза азот-содержащих углеродных нанотрубок (N-УНТ) и нановолокон (N-УНВ) (электродуговой, лазерная абляция, замещение атомов углерода в исходных материалах), каталитический метод привлекает особый интерес вследствие сравнительно низких температур процесса и стоимости продукта, а также доступности для широкомасштабного производства. Катализаторами разложения углеродсодержащих соединений являются металлы подгруппы железа (Fe, Co, Ni) и их сплавы.

В настоящее время сформулирована общепринятая точка зрения модели формирования УНТ и УНВ на металлических катализаторах, включающая в себя следующие основные стадии: (1) разложение молекул предшественника на поверхности катализатора с образованием адсорбированных атомов углерода, (2) диффузия атомов углерода через каталитическую частицу, (3) формирование зародыша и рост углеродной трубки или волокна.

Вопрос о состоянии углерода на поверхности каталитической частицы и в структуре металла в процессе его диффузии от граней, на которых происходит разложение молекул предшественника к местам сегрегации атомов углерода, остается достаточно неоднозначным. Существует предположение, что растворение атомов углерода в объеме каталитической частицы сопровождается образованием карбида. С другой стороны, в ряде работ ставится под сомнение участие карбидов в синтезе УНВ и предполагается, что при разложении углеродсодержащих предшественников происходит растворение углерода в металлической частице без образования карбида.

Ранее было исследовано изменение Ni-Cu катализатора *ex-situ* в процессе разложения $\text{C}_2\text{H}_4/\text{NH}_3$ смеси. Показано, что формирование N-УНВ на частице катализатора протека-

ет через стадию образования пересыщенного твердого раствора углерода и азота в никель-обогащенном сплаве «NiCu_xC_yN_z», что приводит к увеличению параметра решетки данного сплава до аномально высоких значений $a = 0,3616 - 0,3706$ нм без разрушения его кубической структуры. Важно, что формирование фазы «NiCu_xC_yN_z» и ее присутствие в системе совпадает по времени с оптимальной продолжительностью синтеза для получения N-УНВ с максимальным содержанием азота в материале и максимальными значениями текстурных параметров.

В данной работе впервые исследовано изменение состояния Ni-Cu катализатора *in situ* в процессе роста N-УНВ при разложении этиленаммиачной смеси.

Фазовый состав исходного Ni-Cu катализатора представлен двумя металлическими фазами – сплавом на основе никеля состава Ni_{0,87}Cu_{0,13} ($a = 0,3536 \pm 0,0003$ нм) и сплавом на основе меди состава Cu_{0,93}Ni_{0,07} ($a = 0,3609 \pm 0,0003$ нм). При нагреве катализатора в камере-реакторе в токе водорода до 550 °С наблюдается смещение рефлексов в сторону меньших углов вследствие термического расширения. Каких-либо иных изменений состояния катализатора на этом этапе эксперимента не отмечается.

Ранее с использованием РФА *ex situ* были зафиксированы значительные изменения в структуре Ni-Cu катализатора после разложения смеси 75%CH₄/25%NH₃. При проведении реакции в течении 15 минут максимумы, соответствующие Ni-обогащенному сплаву, не регистрировались, в то же время на рентгенограммах фиксировалось формирование фазы с увеличенным параметром г. ц. к. решетки $a = 0,3621 - 0,3628$ нм, превышающим параметр решетки чистой меди ($a_{Cu} = 0,3615$ нм (ICDD PDF-2 №4-836) на величину $\Delta a = 0,0006 - 0,0013$ нм. Использование эффекта аномального рассеяния в дополнение к обычному методу рентгеновской дифрактометрии позволило установить, что фаза с увеличенным параметром г.ц.к. решетки представляет собой сплав на основе никеля «NiCu_xC_yN_z», который формируется на начальном этапе протекания реакции и существует в течение 15 минут – 3 часов, в зависимости от температуры процесса. Было также отмечено, что Cu-обогащенная фаза не претерпевает в конечном итоге существенных изменений.

На Рис.6.2.13(вверху) представлены дифрактограммы Ni-Cu катализатора, полученные *in situ* в ходе разложения смеси 75%C₂H₄/25%NH₃ при 550°С в высокотемпературной рентгеновской камере-реакторе. С первых минут реакции наблюдается смещение рефлекса, относящегося к Ni-обогащенному сплаву, в сторону меньших углов, соответственно происходит увеличение параметра решетки сплава. В течение 15 минут реакции параметр увеличивается с 0,3567 нм до

0,3585 нм. В свою очередь, положение рефлекса, относящегося к Cu-обогащенному сплаву, в ходе реакции не изменяется. Как известно, увеличение параметра решетки металлического катализатора при росте углеродных материалов связано с растворением углерода в частице катализатора. В данном случае на основании справочных данных увеличение параметра решетки на 0,0018 нм соответствует растворению ~ 2,5 ат.% С.

При охлаждении камеры-реактора в токе реакционной смеси в области 550-460°С продолжается смещение рефлекса Ni-обогащенного сплава в сторону меньших углов, Рис.6.2.13(внизу). Это связано, по-видимому, с продолжающимся насыщением частиц катализатора углеродом и азотом. При температуре 460-440 °С происходит значительное изменение дифракционной картины – на рентгенограмме наблюдается один рефлекс с параметром ~0,3635 нм. При дальнейшем охлаждении катализатора его фазовый состав более не меняется.

Проведенный эксперимент позволяет точно установить состояние Ni-Cu катализатора в ходе роста N-УНВ при разложении этиленаммиачной смеси. При протекании реакции при 550 °С катализатор представляет собой двухфазную систему аналогично исходному состоянию: Ni-обогащенный сплав и Cu-обогащенный сплав. В ходе реакции происходит растворение углерода в Ni-обогащенном сплаве, что сопровождается увеличением параметра решетки сплава на 0,018 Å. Cu-обогащенный сплав, по всей видимости, не участвует в реакции, поскольку рефлексы, относящиеся к данной фазе, остаются неизменными в ходе процесса. Такое состояние катализатора сохраняется при охлаждении в токе реакционной смеси до 440-460 °С. При температуре 440-460 °С происходит скачкообразное изменение состояния катализатора, он продолжает оставаться двухфазным, но при этом Ni-обогащенная фаза очень сильно меняет свой параметр вследствие аномального поглощения углерода и азота, так что рефлексы этой фазы полностью перекрывают рефлексы присутствующей в образце изначально Cu-обогащенной фазы. Это новое состояние катализатора, обозначаемое как фаза «NiCu_xC_yN_z», имеет параметр решетки 0,3635 нм, что на 0,020 нм выше, чем параметр решетки чистой меди (0,3615 нм при данной температуре). Такое значительное увеличение параметра свидетельствует о том, что при данной температуре происходит растворение углерода в значительном количестве (>15 ат.%С). Полученные данные позволяют однозначно сделать вывод о том, что образование углеродных нановолокон в процессе разложения этилен/аммиачной смеси происходит через стадию растворения углерода в частице катализатора, но без образования карбида металлов.

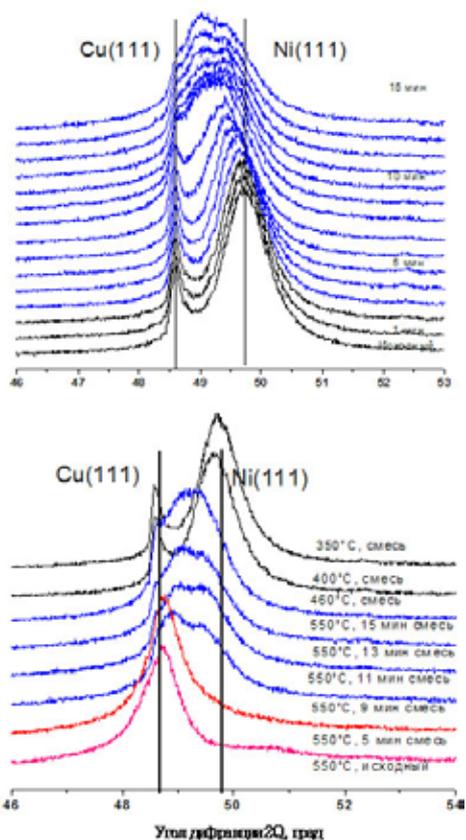


Рис.6.2.13. Изменение состояния Ni-Cu катализатора в условиях реакции (вверху) и в процессе охлаждения (внизу).

Исследование состояния активного компонента Fe-Co катализаторов роста многостенных углеродных нанотрубок.

В настоящей работе были использованы катализаторы с активным компонентом на основе железа и/или кобальта и карбонатом кальция в качестве носителя ($\text{FeCo}/\text{CaCO}_3$), полученные по методу Пекини. Катализатор $\text{FeCo}/\text{CaCO}_3$ позволяет получать многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) со средним диаметром 22 нм, с выходом более 20 г/г катализатора за 30 минут синтеза при температуре 670 °С и низким содержанием примесей аморфного углерода и металлов.

Согласно экспериментальным данным, фазовый состав исходного катализатора может быть интерпретирован как смесь высокодисперсных фаз (8-10 нм из анализа ОКР) карбоната кальция (форма лайм) и оксидов шпинельной структуры на основе железа и кальция или кобальта. При нагревании катализатора (30 °С в минуту) в токе азота (чистота 99%, 1,5 мл/сек) происходит увеличение межплоскостных расстояний вследствие температурного расширения. При $T \sim 600$ °С наблюдается разложение карбоната кальция до оксида кальция. При выдерживании образца при температуре 670 °С наблюдается дальнейшее изменение фазового состава катализатора. Учитывая метод приготовления катализатора (полимеризованные

комплексные предшественники), в объеме катализатора остается аморфный углерод, который способен восстанавливать оксиды металла. Кроме того, при данной температуре начинается агломерация системы. При соотнесении экспериментальной дифрактограммы катализатора, нагретого до 670 °С и выдержанного в течение 10 минут, и теоретических дифрактограмм при обычной температуре был сделан вывод, что данная система состоит из смеси оксидов различного типа на основе железа, кальция и кобальта различного состава. Необходимо отметить, что агломерация начинается при температурах ниже температуры реакции (размер ОКР оксидных фаз, вычисленный по соответствующим рефлексам, 25-30 нм, металлической – порядка 50 нм).

После выдержки катализатора начиналась подача этилена. Рост углеродных нанотрубок приводит к резкому увеличению объема системы и смещению поверхности образца относительно рентгеновского пучка, что приводит к резкому искажению картины и снижению интенсивности сигналов. Поэтому информативными являлись дифрактограммы, полученные до общего начала резкого уменьшения линии фона.

При подаче этилена наблюдалось дальнейшее восстановление оксидов железа и кобальта и образование Fe-Co сплава. Детальное рассмотрение пиков металлического сплава, оксида железа и кобальта, оксида кальция позволяет сделать утверждение, что не присутствует промежуточных фаз при переходе из оксидов Co-Fe в металлический сплав, так как рост содержания восстановленных металлов в системе прекращается практически одновременно с окончанием восстановления оксидов металлов. Наблюдаемое незначительное увеличение содержания металла может быть связано с агломерацией мелких металлических частиц, которые могут не наблюдаться в силу инструментальных ограничений.

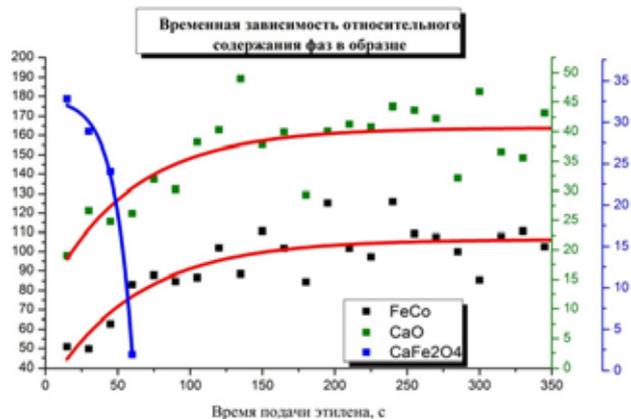


Рис.6.2.14. Изменение фазового состава катализатора синтеза МУНТ в процессе реакции.

О полном восстановлении кобальтовых оксидов свидетельствует образование именно

сплавных частиц. Кобальт может присутствовать либо в чистом виде (характерные для графенцентрированной решетки кобальта пики не наблюдаются), либо в сплавном виде. Дифрактограммы чистого железа и сплавной частицы можно различить лишь по параметру решетки, который искажен в виду высокой температуры, но отсутствие рефлексов кобальта является достаточным условием для подтверждения существования сплавной частицы. Кроме того, пики сплава постепенно сдвигались в области малых углов (то есть больших параметров решетки), что может быть трактовано как насыщение углеродом металлической частицы, как предполагается большинством ныне выдвинутых механизмов роста углеродных нанотрубок. Последующее падение насыщения металлов (уменьшение параметра решетки сплава) может быть интерпретировано как капсулирование большинства металлических частиц, ввиду отсутствия каких-либо изменений среднего размера частиц и относительного содержания.

Для проверки идеи о капсулировании металла было решено увеличить содержания этилена до 50% в реакционной смеси (данное решение увеличивает пересыщение металлических частиц, а значит, уменьшает радиус критического зародыша углеродной нанотрубки). Снижение параметра решетки сплава не наблюдалось, что может свидетельствовать о правильности выдвинутой выше гипотезы.

Таким образом, мы можем утверждать, что процессы восстановления (а значит и последующей агломерации) сплава и его насыщения (и пересыщения) углеродом протекают параллельно и соотношение их скоростей может влиять на характер распределения конечных нанотрубок по диаметру. Более того, соотношение удельных количеств углерода необходимых для начала резкого увеличения объема примерно соответствуют корню из соотношения давлений этилена в данных экспериментах. Данный факт позволяет утверждать, что эксперименты выполняются вне диффузионных областей протекания процессов восстановления металла и разложения этилена на его поверхности.

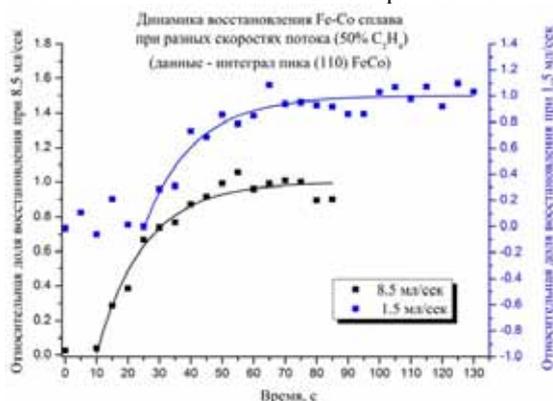


Рис.6.2.15. Динамика восстановления сплава при разных скоростях потока этилена.

6.2.4 Станция – «Рентгенофлуоресцентный элементный анализ»

Станция предназначена для определения элементного состава образцов различного происхождения: геологических пород, биологических тканей, аэрозолей и др., методом рентгенофлуоресцентного элементного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ). Элементный анализ может быть осуществлен как в локальном, так и в сканирующем режиме.

Участвующие организации:

- Институт неорганической химии СО РАН им. А.В. Николаева, Новосибирск;
- Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск;
- Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск;
- Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск;
- Лимнологический институт СО РАН, Иркутск.

Темы работ 2011 года:

Применение метода рентгеноспектрального флуоресцентного анализа с синхротронным излучением, при изучении донных осадков прогляциального озера, для реконструкции динамики ледника горы Черского (Байкальский хребет, Восточная Сибирь) за последние 160 лет.

На основе изучения элементного состава керн донных осадков прогляциального озера Гитара была реконструирована динамика ледника горы Черского Байкальского хребта, схема расположения района исследования представлена на рис.6.2.16. Был проведен рентгеноспектральный флуоресцентный анализ путем сплошного сканирования недеформированного влажного керна. Работа выполнена при использовании оборудования ЦКП СЦСТИ в рамках ГК No 16.552.11.7044. Динамика ледника определялась по уровню поставки тальми водами ледника «терригенной» группы элементов в прогляциальное озеро. Нами выделяются пять эпизодов (~1880, 1905, 1918, 1950 годах и с 1968 года по настоящее), когда ледник испытывал крупные подвижки за последние 160 лет.

Целью данной работы является реконструкция отклика ледников Прибайкалья (на примере ледника горы Черского) на изменения климата последних 160 лет на основе подробного исследования элементного состава керна донных отложений прогляциального озера Гитара. Летописи этого периода охватывают важные климатические перестройки, такие как переход от МЛП к Современному потеплению (СП) и начало активного антропогенного влияния на глобальный климат.

Для изучения элементного состава керна был проведен рентгено-спектральный флуо-

ресцентный анализ путем сплошного сканирования недеформированного, влажного керн в пучках синхротронного излучения («РФА-СИ-скан») с шагом в 1 мм в Сибирском центре СИ. Станция РФА-СИ оборудована специальным сканирующим устройством. Сканер позволяет перемещать образец на длину до 400 мм, перпендикулярно мнхроматическому падающему излучению (и направлению регистрации характеристического флуоресцентного излучения детектором). Минимальный шаг сканирования равен 0,1 мм. Кроме того, программное обеспечение позволяет тестировать наличие пучка СИ из накопительного кольца и осуществлять повторный набор спектра в случае, если происходит перенакопление пучка электронов в кольце. Механическая точность сканера была проверена при помощи датчика перемещения (Burleigh Instruments, Inc.) с разрешением 0,1 мкм. Позиция перемещения образца при помощи сканера отклоняется от реальной позиции, регистрируемой датчиком. Очевидно, что отклонение не превышает 100 мкм на протяжении 200 мм-го интервала сканирования. Данная точность вполне приемлема для палеоклиматических исследований. Спектры обрабатывались при помощи программы AXIL. Были определены концентрации породообразующих К, Са, Ti, Mn, Fe, редких и рассеянных Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ba, La, Се элементов. Содержание воды в осадке определялось методом высушивания при 60 °С. Статистическая обработка данных выполнялось методом факторного анализа.

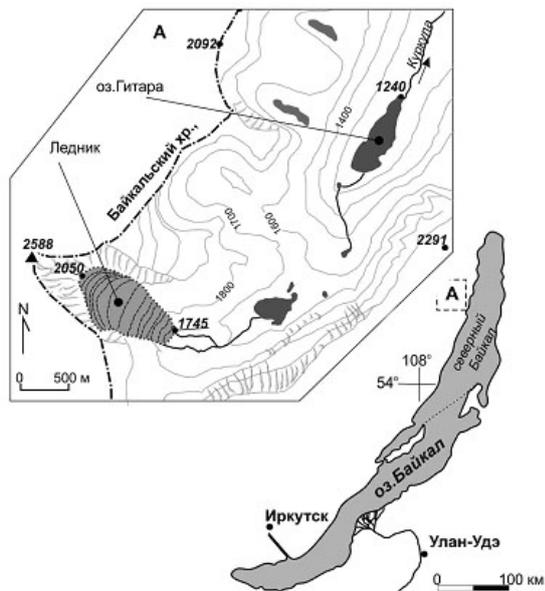


Рис.6.2.16. Схема расположения района исследования.

В наборе данных по изменению элементного состава керн из прогляциального озера выделяются следующие основные группы элементов, описывающие изменение происходившие на изучаемой территории за последние 160 лет: группа (Са, Ti, V, Fe, Mn, Cu и Sr), отображаю-

щая интенсивность химического выветривания пород и почв водосборного бассейна озера Гитара; группа (К, Вг и U), связанная с органической автохтонной составляющей озера; группа (Y, Th, Ga, Rb, Zr, Nb и Rb/Sr отношение), маркирующая процессы физического выветривания, и в частности, подвижки ледника. Изменение элементного состава вдоль керн показана на Рис.6.2.17.

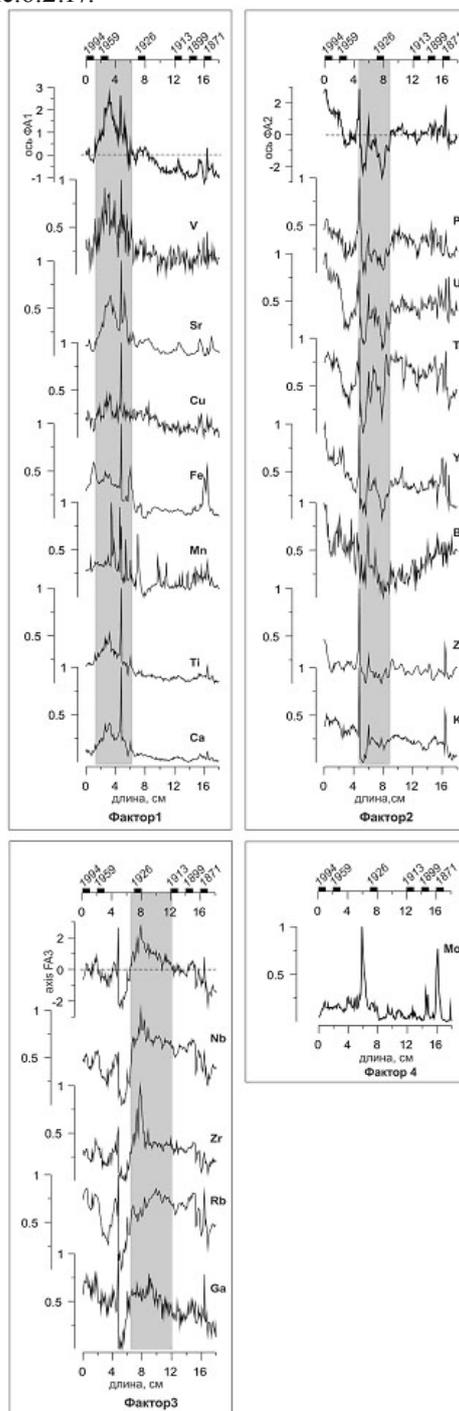


Рис.6.2.17. Изменение элементного состава вдоль керн. Группировка элементов осуществлена методом факторного анализа (Фактор 1-4). Серые прямоугольники—изменения интенсивности накопления элементов каждой факторной группы. Содержания элементов даны в нормализованных величинах от 0 до 1.

На основе этих данных выделяются пять эпизодов, когда ледник приходил в движение (~1880, 1905, 1918, 1950 годов, с 1968 по настоящее время); период увеличения интенсивности химического выветривания водосборного бассейна озера с 1930 года по настоящее время, с максимумом около 1960 года.

Распределение химических элементов в донных отложениях геотермальных озер кальдеры вулкана Узон.

За 2011 год были проведены работы по следующим проектам и грантам: грант РФФИ № 11-05-00655, ИП№10.

Было проведено сканирование керна торфа (Выдринское болото) с целью выявления горизонтов аномальных концентраций Zn и Cu для последующего изучения форм соединений с S на электронном микроскопе. В результате этих работ обнаружены скопления микронных сульфидов Zn и Cu в горизонтах торфяника возраста 8000-11000 лет (ранний Голоцен). Проведено РФА СИ таблеток для интерпретации графиков распределения элементов группы K-Zr(Mo) в абсолютных концентрациях в керне торфа и в стандартных образцах с силикатной и органической матрицей (СБМП; СБМТ).

В рамках интеграционного проекта ИП№10 были отобраны пробы донных отложений геотермальных озер кальдеры вулкана Узон (Камчатка) и проведено их сканирование методом РФА СИ, целью которого является изучение распределения химических элементов ядерно-геофизическими методами для анализа периодичностей с целью реконструкции палеоклиматических условий и физико-химических условий образования.

Сканирование проведено с шагом 1 мм. Было получено относительное распределение концентраций элементов в кернах донных осадков. С целью определения абсолютных значений концентраций элементов в дальнейшем планируется проанализировать исследуемые пробы методом атомной абсорбции. На верхнем графике представлены данные по распределению наиболее выраженных химических элементов в керне донных отложений озера «Восьмерка», полученные методом РФА СИ с шагом 1 мм. На нижнем графике представлено распределение As и Fe в разрезе осадка этого же интервала, шаг 1мм, выполнен метод РФА СИ.

Видно, что относительная концентрация основных элементов (Sr, Y, Zr, Mo), которые содержатся в исследуемой пробе, меняется незначительно на протяжении всего исследуемого интервала керна донных отложений, и по данным о распределении этих элементов в керне донных отложений сложно определить изменение в физико-химических условиях формирования осадка, в то время как концентрации As и Fe непрерывно изменяются, что может говорить

нам об изменении физико-химических условий образования донных осадков.

В дальнейшем планируется провести статистический анализ этих данных для выявления закономерностей и периодичностей, если таковые имеются.

Работы проводились работниками Института геологии и минералогии (ИГМ) СО РАН, Новосибирск.

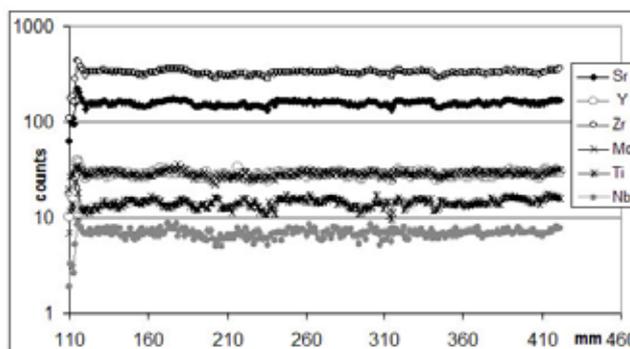


Рис.6.2.18

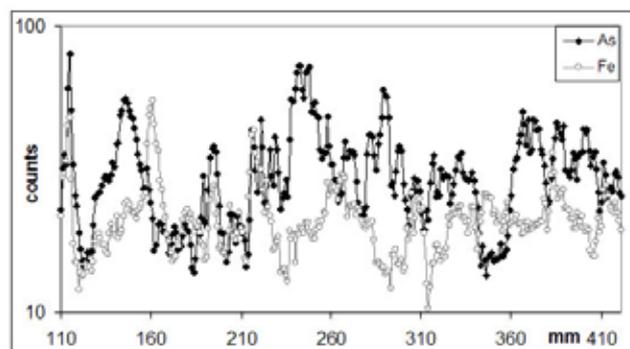


Рис. 6.2.19

6.2.5 Станция – «Дифрактометрия с использованием жесткого рентгеновского излучения»

Дифрактометрия в жестком рентгеновском диапазоне. Станция предназначена для проведения in situ дифракционных исследований в условиях высоких давлений и высоких и низких температур, а также в ходе химических реакций.

Участвующие организации:

- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
- Институт геологии и минералогии СО РАН,
- Институт неорганической химии СО РАН,
- Институт катализа СО РАН.

Новое оборудование на станции:

Компактная камера с мембранным приводом для создания давления и резистивным нагревом (DiaCell, Англия), диаметр рабочей площадки наковален 0,8 мм, достигаемые параметры: 900 °С, 200 кбар. Использование дан-

ной камеры позволяет проводить исследования минералов в условиях, аналогичных условиям, возникающим в земной коре на глубине до 100 км.

Интеграционные проекты и проекты РФФИ, в выполнении которых была задействована станция:

Грант РФФИ № 10-05-00483 «Структурная эволюция Ca,Na-цеолитов и их микропористых гетеросиликатных аналогов при высоких давлениях» (рук. – ведущий научный сотрудник Института геологии и минералогии СО РАН Ю.В. Сереткин);

Грант РФФИ № 11-05-01121 «Динамика решетки микропористых минералов при их взаимодействии с водной средой при высоких давлениях» (рук. – старший научный сотрудник Института геологии и минералогии СО РАН С.В. Горайнов)

Проект СО РАН по сотрудничеству со сторонними организациями № 138 «Создание фундаментальных основ воздействия активаций на регулирование процессов взаимодействия твердых металлов и их соединений с металлическими расплавами с целью создания функциональных материалов с заданной структурой и свойствами» (рук. – академик РАН Ляхов Н.З.).

Примеры работ:

1) Дифрактометрия *in situ* (400°C, 20 кбар) образования высокобарической водосодержащей фазы (лавсонит) в системе CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O

Успешно опробована дифракционная съемка в ячейке высокого давления с резистивным нагревом Helios DiaCell на примере исследования реакции «ломонтит→лавсонит+кварц», маркирующей переход от цеолитовой фации к фации голубых сланцев при метаморфизме.

Лавсонит - один из немногих водных силикатов, устойчивый до 1000 °C и 100 кбар, благодаря чему он считается вероятным транспортёром воды в мантию. Впервые реакция его образования при разложении цеолита ломонтита исследована *in situ* при параметрах 400 °C, 20 кбар, отвечающих условиям субдукционного клина океанической литосферы. Порошковые дифракционные измерения проводились на 4-м канале СИ ускорителя ВЭПП-3 ($\lambda=0,3685\text{\AA}$), с использованием детектора image-plate MAR345. На Рис.6.2.20. приведены дебаеграммы исходного минерала ломонтита (а) и продуктов его разложения при 400°C, 20 кбар (б). Здесь основной фазой является лавсонит, его текстурирование четко проявляется в линзовидной форме дебаевских отражений.

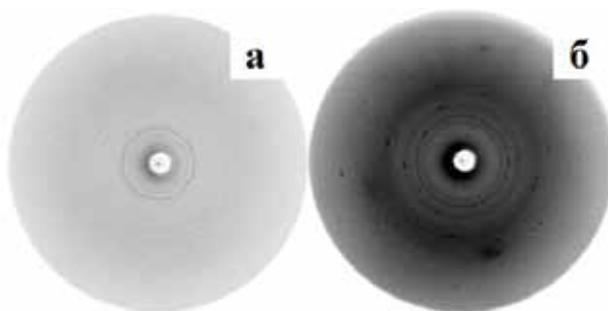


Рис. 6.2.20. Дебаеграммы (а) ломонтита при 0 кбар и (б) смеси фаз - продуктов его разложения при 400 °C, 20 кбар.

2) Фазовый переход в природном (Mg,Fe)-кордиерите при 45 кбар

Порошковые дифракционные измерения в камере высокого давления природного кордиерита при сжатии в водной среде проводились с целью структурной интерпретации обнаруженных ранее аномальных сдвигов каркасных мод в области 50 кбар. При 44-50 кбар обнаружен перегиб на барической зависимости параметров решетки кордиерита (Рис.6.2.21), что подтверждает наличие фазового перехода. Уточнение структуры при 44 и 50 кбар указывает на перераспределение молекул воды внутри структурных каналов, связанное, по-видимому, с деформацией образующих каналы 6-ных (Si,Al) O₄-тетраэдрических колец. Поскольку суммарная заселенность водных позиций не растет, обнаруженный фазовый переход нельзя связать с гидратацией каналов под влиянием проникающей водной среды. Полученные структурные данные подтверждают ранние выводы КР-спектроскопического исследования о том, что данный переход маркирует изменение механизма сжатия от преобладающего сокращения к деформации каркасных структурных единиц в кольцевых силикатах в области 50 кбар.

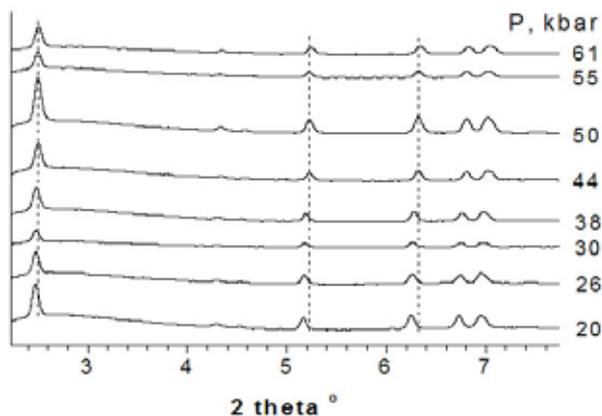


Рис.6.2.21. Дифрактограммы природного кордиерита при сжатии в водной среде. Вертикальные пунктиры отмечают одинаковое положение пиков при 44-50 кбар, где происходит нарушение регулярного сжатия в связи с фазовым переходом.

3) Сжимаемость природных стильбита и стеллерита в водной среде.

Для изучения влияния индуцированной давлением гидратации на эластичные свойства микропористых алюмосиликатов исследовалась сжимаемость природных цеолитов стильбита и стеллерита в водной среде до 60 кбар. Нарушение регулярности сжатия, связанное с гидратацией структурных полостей, более отчетливо проявляется в стеллерите, хотя и не приводит к фазовому переходу. Это отличает поведение данных минералов от ранее изученной группы волокнистых цеолитов, где сверхгидратация приводит к значительным структурным деформациям и скачкам объема.

Проведение *in situ* дифракционных исследований процессов взаимодействия меди с индием, оловом и их эвтектическим сплавом.

Процессы взаимодействия между твердыми и жидкими металлами используются в промышленности достаточно широко - это процессы пайки и сварки, жидкофазного спекания, механохимического сплавления. Часто такое взаимодействие происходит с образованием интерметаллических соединений. Существует два основных механизма, по которым протекают эти процессы. Одним из таких механизмов является диффузия, за счет которой происходит проникновение атомов одного сорта в слой другого вещества, и образования в пограничном слое химических соединений. Вторым механизмом взаимодействия является растворение твердого компонента или продукта реакции, в жидком компоненте и образование кристаллитов либо на границе между твердой и жидкой фазой, либо в околограничном пространстве жидкой фазы. Процессы химического взаимодействия массивного твердого металла с металлическим расплавом изучались многочисленными исследователями различными методами. В основном исследования проводились микроскопическими методами на шлифах зоны контакта после охлаждения образца. Целью данного исследования было проведение исследования взаимодействия на порошках механокомпозигов. Механокомпозиговы имеют высокую удельную поверхность, и фазовый состав их может отличаться от равновесного.

В системе Cu-Sn при температуре не превышающей 350 °C могут существовать четыре фазы: твердый раствор на основе меди, ϵ -фаза, обозначаемая еще как интерметаллид Cu_3Sn , η -фаза, обозначаемая еще как интерметаллид Cu_6Sn_5 , и олово.

Были приготовлены механокомпозиговы меди с оловом и меди с индием, имеющие различный состав и время мехактивации. Предварительный анализ дифрактограмм показал, что механокомпозиговы имеющие в составе 12 вес.% олова и подвергшиеся мехактивации при 20g в течение 2 и 4 минут, состоят их трёх фаз:

меди, олова, и η -бронзы. Можно предположить, что частицы механокомпозиговы представляют из себя медное ядро, покрытое оловом, а на границе между оловом и медью образовалась η -фаза. Дифракционные картины от механокомпозиговы меди с оловом и меди с индием, подвергшихся мехактивации при 60g в течение 20 минут, состояли из расширенных и сдвинутых в сторону малых углов дифракции пиков меди. Таким образом, образец представлял собой метастабильный пересыщенный твердый раствор олова или индия в меди.

Образцы для исследований готовились путем совместной прокатки порошка механокомпозиговы и фольги из олова. Олово достаточно пластично и путем прокатки легко получают фольги толщиной до 50 мкм. Навеска порошка механокомпозиговы равномерно распределялась внутри полоски фольги. Навеска порошка бралась из расчета получения общего состава отвечающего ϵ -фазе. После этого фольга складывалась и прокатывалась между валками до достижения толщины 70-100 мкм. После этого фольга складывалась несколько раз и опять прокатывалась до толщины 70-100 мкм. Процедура повторялась 4-5 раз. На финальной стадии готовилась фольга толщиной 50-70 мкм, и из нее вырезались образцы для исследований. Нагрев образцов происходил двумя способами: (1)- температура поднималась до температуры на 5°C ниже температуры плавления в соответствующей системе и выдерживалась до завершения взаимодействия; (2)- температура быстро поднималась до температуры на 5°C выше температуры плавления в соответствующей системе и выдерживалась до завершения взаимодействия.

При температуре ниже температуры образования жидкой фазы взаимодействие в системе медь-олово может происходить только за счет диффузии. Диффузией и объясняется образование двух фаз (ϵ -фазы и η -фазы), способных существовать при этих условиях. За диффузионный механизм говорит и вид дифракционных картин. Ровные кольца и отсутствие крупных рефлексов объясняются также диффузионными процессами при образовании интерметаллических соединений. По результатам дифракционных исследований можно заметить, что процесс образования интерметаллидов меди и олова сильно замедляется при использовании метастабильного твердого раствора олова в меди. Атомы олова, замещая атомы меди в кристаллической решетке, искажают ее. Это приводит к замедлению движения вакансий и, следовательно, уменьшает скорость диффузии.

Процессы взаимодействия механокомпозиговы на основе меди с жидким оловом идут практически одинаково. Это можно объяснить тем, что продукт взаимодействия - η -фаза создается в жидком олове и кристаллизуется в околограничной области.

Существенным образом отличаются процессы взаимодействия механокомпозиата меди и индия с оловом. Нагрев до температуры 220 °С и последующая выдержка в течение 4 часов не привели к изменению фазового состава - твердый раствор индия в меди и олово. При повышении температуры до 235 °С (температура плавления олова 232 °С) и выдержки в течение 0,5 часа происходит радикальное изменение дифракционной картины. Олово переходит в жидкое состояние, образуется интерметаллид типа η-фазы и исчезают дифракционные пики от фазы меди.

Обнаруженные эффекты могут найти применение при разработке технологий и припоев для низкотемпературной терморезивной пайки.

6.2.6 Станция – «Рентгеновская микроскопия и томография»

Станция «Рентгеновская микроскопия и томография» предназначена для исследования трехмерной структуры образцов с высоким пространственным разрешением.

Темы работ 2011года:

- Распределение минералов в горных породах полученных методом ВРТ.
- Получение данных о микроструктуре образцов взрывчатых веществ и ракетного топлива методом ВРТ с высоким пространственным разрешением.
- Контроль качества рентгеношаблонов для LIGA-технологии.
- Исследование археологических находок неразрушающим методом ВРТ.

Участвующие организации:

- Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск;
- Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск;
- Институт гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск;
- Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск;
- Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск.

Работы проводилась в рамках:

1. Гранта РФФИ № 09-05-00985-а «Зонально-секториальное строение алмазов из кимберлитовых месторождений Якутии как отражение эволюции условий их образования».

2. Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 51 «Влияние среды на морфологию, реальную структуру и изотопный состав углерода алмаза».

3. Проекта СО РАН №24 «Неизвестные страницы истории и культуры древних цивилизаций 1 в. до н.э. – 1 в.н.э. (империи Хань, Парфия, Римская империя, Империя хунну) по ре-

зультатам междисциплинарных исследований археологических находок из «Царских» могил Северной Монголии».

Вычислительная рентгеновская томография (ВРТ) позволяет во многих случаях оптимизировать геологические исследования при определении минерального (фазового) состава и текстурно-структурных особенностей горных пород и промышленных руд. Привлекательность метода состоит в его неdestructивности, простоте процедуры съемки, отсутствии этапа предварительной подготовки объекта (распиловка, изготовление полированных шлифов, напыление и др.). Таким образом, использование метода ВРТ является крайне востребованным для исследования уникальных геологических объектов.

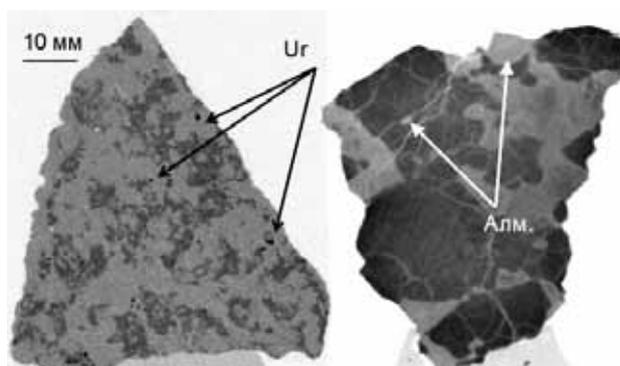


Рис.6.2.22 (слева)-распределение минералов в ураносодержащей породе, (справа)-распределение минералов в алмазосодержащей породе.

На рис.6.2.22 представлены виртуальные срезы, полученные методом ВРТ образцов горных пород с пространственным разрешением 100 мкм. Хорошо видно, что минералы с различными коэффициентами рентгеновского поглощения имеют контрастные границы, что дает возможность получить их четкое распределение в образце.

Наша установка позволяет получить трехмерное распределение неоднородностей в непрозрачных для видимого диапазона высокоэнергетических материалах (ВЭМ) с пространственным разрешением на уровне 3-4 мкм. Высокая чувствительность нашего рентгеновского микроскопа к изменению фазы излучения, прошедшего через исследуемый объект, позволяет визуализировать небольшие вариации плотности в объеме ВЭМ. Это свойство работающей установки очень важно при исследовании структуры ВЭМ, так как они обычно представлены органическими соединениями, которые слабоконтрастны в рентгеновском диапазоне.

Исследование микрон неоднородностей в твердом ракетном топливе при различных условиях кристаллизации представлены на Рис.6.2.23. Размер и плотность неоднородно-

стей влияет на детонаустойчивость и процесс горения ракетного топлива.

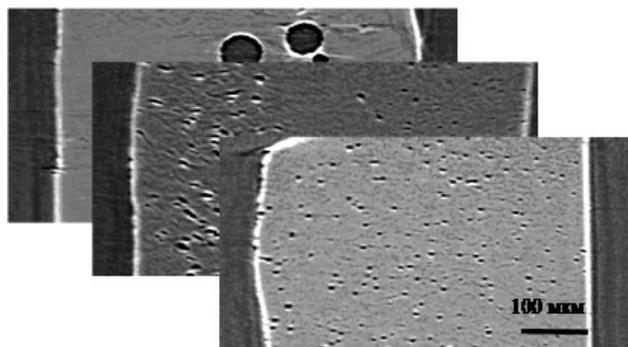


Рис. 6.2.23 Образцы ВЭМ на основе смеси ФТДО/ДНП, полученные при различной температуре кристаллизации.

Для успешного развития рентгенолитографических методов изготовления глубоких микроструктур с использованием LIGA-технологии важным моментом является тестирование качества изготавливаемых рентгеношаблонов (РШ). Традиционные методы визуального контроля (оптическая и электронная микроскопия) позволяют контролировать только топологию рисунка и внешний вид РШ, но такие исследования не дают информации о толщине, плотности, пористости и дефектности рентгенопоглощающего покрытия. Поэтому метод рентгеновской интроскопии с микронным разрешением стал актуальным экспресс-методом контроля качества создаваемых шаблонов в нашем институте.

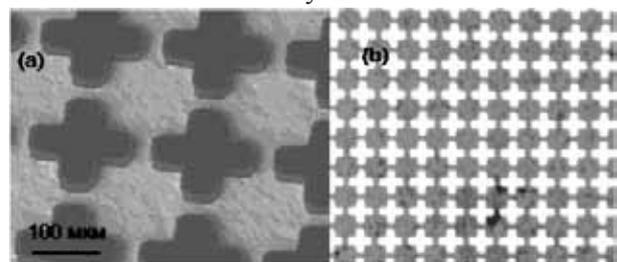


Рис. 6.2.24 Изображения золотого РШ, полученные методом сканирующей электронной микроскопии (а) и методом рентгеновской микроскопии (б).

На рис.6.2.24 показаны изображения золотого рентгеношаблона, полученные с помощью электронного сканирующего микроскопа и с помощью увеличителя на основе асимметрично срезанных кристаллов. Видно, что электронная микроскопия имеет более высокое пространственное разрешение, чем полученные рентгеновские изображения, но она дает информацию только о поверхности исследуемых объектов. Изображение дефектов, скрытых в глубине поглощающего слоя, может дать только анализ микроизображений в рентгеновском диапазоне.

В некоторых случаях, когда габариты ис-

следуемых археологических находок имеют большие размеры, чем допустимые для работы на нашей установке (более 45 мм), мы используем томограф, смонтированный на базе малодозной цифровой рентгеновской установки «Сибирь», разработанной и созданной в ИЯФ СО РАН.



Рис. 6.2.25 Фотография глиняной головы (вверху) и ее трехмерное рентгеновское изображение, полученное в ходе томографической съемки (внизу).

В качестве любопытного примера таких исследований можно привести изучение археологической находки, представлявшей собой глиняную скульптуру изображения головы древнего человека (Рис.6.2.25). Трехмерное изображение с пространственным разрешением 1 мм было восстановлено из 360 проекций. Хорошо видно, что в качестве основы скульптуры был выбран череп барана, а не человека, как изначально предполагали. При детальном изучении томографических срезов можно проследить последовательность лепки при создании головы.

6.2.7. Станция – «Дифракционное кино»

Станция предназначена для исследований структурных и фазовых превращений в твердых телах в процессе химических реакций методами рентгеновской дифрактометрии. После установки двухкоординатного детектора MarCCD станция используется и для исследований методом дифрактометрии монокристаллов. Применение 2D детектора позволяет изучать малые количества вещества, а также образцы, имеющие ярко выраженную текстуру.

Участвующие организации:

- Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск;
- Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск;
- Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск.

Темы работ 2011 год:

Исследование разложения оксалата серебра в мезопористой матрице.

Мезопористые структуры типа SBA-15 или MCM-41 представляют собой гексагональную упаковку длинных цилиндрических пустот диаметром до десятков нанометров в матрице из SiO_2 . Эти пустоты представляют интерес как носители катализаторов, получаемых разложением прекурсоров. Поэтому важно установить, как и где при таком способе приготовления образуются частицы металлов. В качестве модельной системы выбрано разложение оксалата серебра. Система удобна тем, что процесс разложения протекает при относительно низких температурах и образуется только серебро. Мезопористые структуры дают характерный триплет в области малых углов, его положение определяется таким структурным параметром как расстояние между центрами пор.

Эксперименты проведены на станции «Дифракционное кино» канала 5 «б» в области малых углов и на станции канала 6 «б» в области больших углов.

Изменение дифрактограмм в области малых углов приведено на рис.6.2.26. При разложении оксалата серебра наблюдается уменьшение интенсивности первого пика гексагональной структуры и увеличение малоуглового рассеяния. Первое, предположительно, связано с уменьшением контраста из-за выхода тяжелых атомов серебра из пор, а второе - формированием частиц серебра вне каналов.

Этот же процесс был исследован методом дифрактометрии в больших углах. Обзор динамики дифрактограмм при повышении температуры представлен на рис.6.2.27а. Обнаружено, что пик $\text{Ag}(111)$ может быть разделен на две составляющие – широкий и узкий пики

(рис.6.2.27б). Данный факт проинтерпретирован как наличие двух классов частиц серебра – с начальной ОКР ~ 270 А и с начальной ОКР ~ 2500 А. При достижении температуры 280°C размер ОКР возрос до 550 А и 10000 А соответственно (рис.6.2.28).

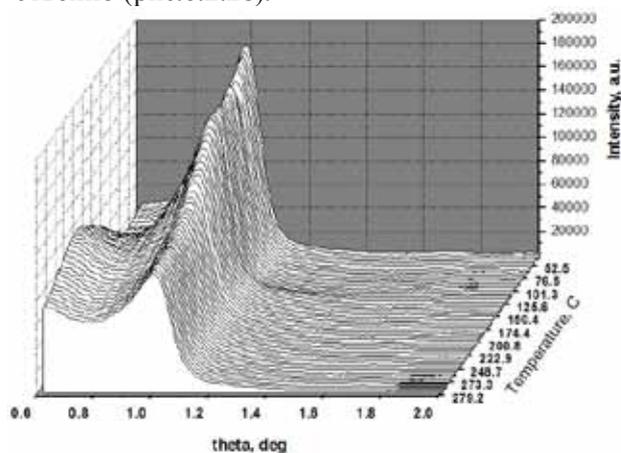


Рис.6.2.26. Динамика пиков в области малых углов при повышении температуры.

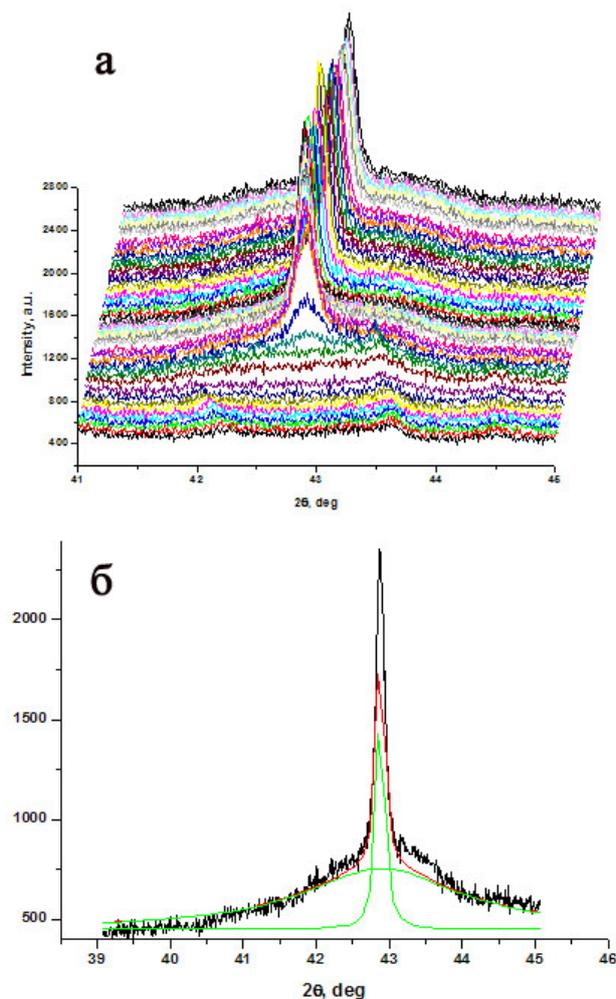


Рис.6.2.27 а) - динамика дифрактограмм в области больших углов, б) широкая и узкая компоненты пика серебра (111).

На основе полученных данных сделано предположение, что часть серебра, образующе-

гося при разложении его оксалата диффундирует за пределы каналов SBA-15 с формированием крупных частиц металла. Часть – остается в каналах, поэтому рост их размера ограничен.

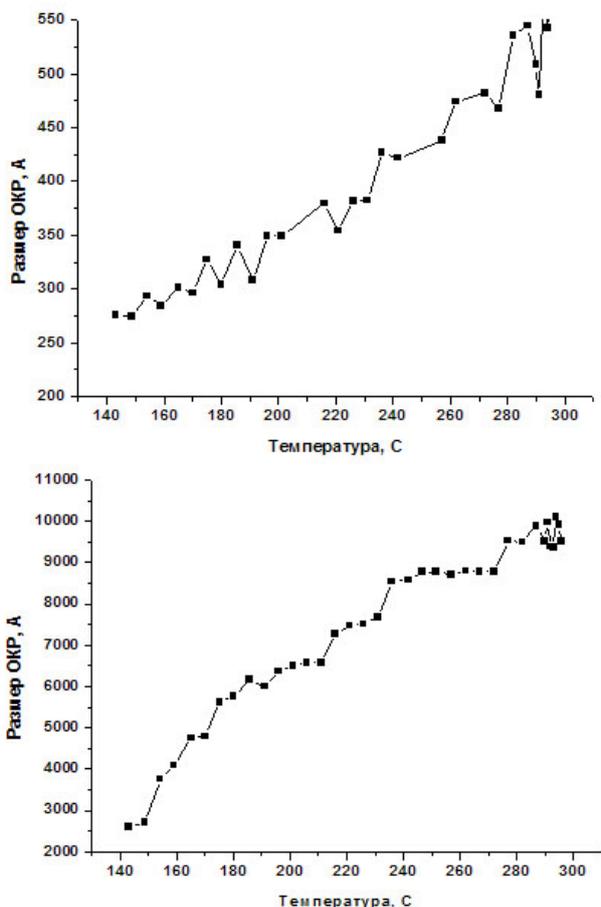


Рис. 6.2.28. Увеличение ОКР для двух типов частиц Ag при повышении температуры.

6.2.8. Станция «EXAFS-спектроскопия»

Назначение станции – исследование структуры локального окружения атомов избранного химического элемента (координационное число, межатомные расстояния). В зависимости от применяемой методики анализируются: объем, поверхность, либо поверхностные слои.

Всего за 2011 год на станции EXAFS спектроскопии исследовано более 150 образцов, снято более 450 спектров. Опубликовано и принято к печати более 40 публикаций, включая статьи в рецензируемых журналах (более 10), статьи в сборниках трудов конференций и тезисы докладов конференций.

Участвующие организации:

- Институт катализа СО РАН (Новосибирск),
- Институт неорганической химии СО РАН (Новосибирск),
- Институт химической физики РАН (Москва),
- Институт общей и неорганической хи-

мии РАН (Москва),

- Ростовский Государственный Университет (Ростов),
- Институт элементоорганических соединений РАН (Москва),
- Институт нефтехимического синтеза РАН (Москва),
- Институт проблем переработки углеводородов СО РАН (Омск),
- Саратовский Государственный Университет (Саратов),
- Институт химической кинетики и горения СО РАН (Новосибирск),
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН (Новосибирск),
- Лимнологический институт СО РАН (Иркутск),
- Hahn-Meitner-Institut (Berlin, Germany),
- Иститут физики полупроводников СО РАН (Новосибирск),
- Институт углехимии и химического материаловедения (Кемерово),
- Институт физической химии и электрохимии РАН (Москва),
- Институт геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск),
- Институт физики металлов Уро РАН (Екатеринбург),
- Удмуртский Государственный университет (Ижевск),
- Физико-Технический Институт Уро РАН (Ижевск),
- Max-Planck-Institut für Kohlenforschung (Germany),
- Institute of High Temperature Processes & Chemical Engineering (Patras, Greece),
- Institute of Chemistry: Humboldt University (Berlin, Germany),
- Ohldeburg University (Ohldeburg, Germany),
- Åbo Akademi University (Turku, Finland),
- University of Oulu (Oulu, Finland),
- Centro de Nanociencias y Nanotecnologia (UNAM, Ensenada, B.C., Mexico),
- Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (Spain),
- Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla (Spain).

Работы проводились в рамках проектов РФФИ №№ 09-03-00369а, 09-03-00346а, 09-03-00780а, 08-03-00823а, 09-03-90424-Укр_ф_а, 09-03-00089а, 09-03-00133а, 09-03-00328а, AF-08 0391758а, 08-03-92502-ИЦНИЛа, 09-03-00514а, 09-05-98019а, 08-02-00404а, 09-03-00780а, 09-03-00346а, 09-03-00540а, 09-03-01013а, DGAPA- PAPIIT - IN 1207063, ФАНИ (контр.№ 02.513.11.3203), Президиума РАН (20, 21, 24).

Основные направления и краткие результаты работ 2011 года:

Развитие методик для исследования ультраразбавленных и поликомпонентных наносистем сложного состава.

Показаны новые возможности метода флуоресцентной XAFS-спектроскопии с использованием многоэлементной системы детектирования для исследования различных наноразмерных систем. Регистрация XAFS спектров по флуоресцентному выходу с энергетическим разрешением позволяет исследовать образцы с предельно низкой концентрацией (менее 0,1%) и наносистемы сложного состава. Получены результаты по использованию детектора и программного обеспечения для исследования особенностей состояния элементов в “живых” системах микробных сообществ и наноструктурированных поликомпонентных Au-Pd катализаторов сложного состава.

Применение метода флуоресцентной XAFS спектроскопии и 9-элементного ППД для исследования “живых” систем микробных сообществ из гидротермальных источников рифтовой зоны о. Байкал.

В последнее время внимание исследователей привлекают уникальные микробные сообщества, существующие в гидротермальных источниках Баргузинской впадины - рифтовой зоны о. Байкал. Данные сообщества, состоящие из различных видов и классов микроорганизмов, включая цианобактерии, образуют плотные микробные маты толщиной 1-5 см на водной поверхности источника. Микробные сообщества являются удобной моделью для изучения ранней экосистемы и процессов минералообразования. Ранее методом РФА было установлено, что в живых микробных матах происходит накопление ряда элементов, в частности обнаружено необычно высокое содержание германия ~10-50 ppm. Изучение данных объектов вследствие методических ограничений другими методами на СИ весьма затруднительно.

Несомненно, прямое структурное исследование состояния и форм стабилизации германия было бы весьма полезно для понимания механизмов накопления Ge, однако проведение подобного исследования методом XAFS стало возможным только с использованием уникального 9-элементного ППД с быстродействующим цифровым спектрометрическим трактом и разработанного программного комплекса.

Развита методика флуоресцентной XAFS спектроскопии в применении к “живым” системам. Выполнено структурное XAFS исследование состояния и особенностей стабилизации германия в “живых” микробных сообществах из гидротермальных источников Баргузинской впадины. Показана перспективность данного подхода, на основе анализа данных XANES и EXAFS найдено, что германий имеет искаженное кислородное окружение. Возможно существование различных стабилизированных “живых” форм, имеющих сложное строение, которое принципиально отлично от неорганических оксидных и карбонатных форм.

Применение флуоресцентной XAFS спектроскопии и 9-элементного ППД для исследования нанодисперсных низкопроцентных Au-Pd катализаторов.

Сегодня в области катализа ведется активная разработка новых процессов переработки природного сырья из возобновляемых ресурсов. Актуальной задачей является рациональное использование природных сахаров и их селективное гетерогенное окисление в многофункциональные органические кислоты. Данные кислоты широко востребованы в медицине и пищевой промышленности и производятся сейчас преимущественно, дорогостоящим биотехнологическим способом. Ожидается, что использование гетерогенных нанодисперсных катализаторов на основе Au и Pd позволит значительно повысить эффективность процесса и снизить затраты. Например, для низкопроцентной нанесенной каталитической наносистемы Au-Pd/Al₂O₃-ZrO₂,

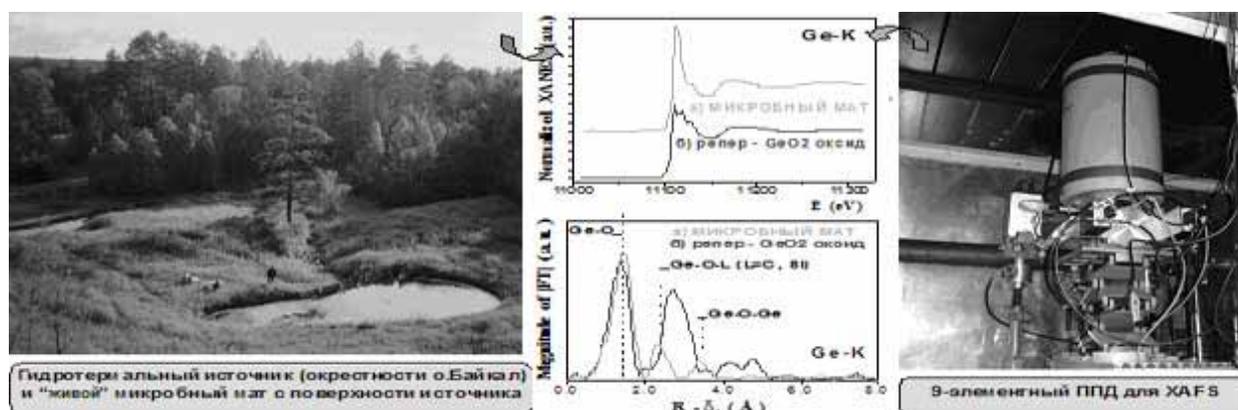


Рис.6.2.29. Применение метода флуоресцентной XAFS спектроскопии и 9-элементного ППД для исследования “живых” систем микробных сообществ из гидротермальных источников рифтовой зоны о. Байкал.

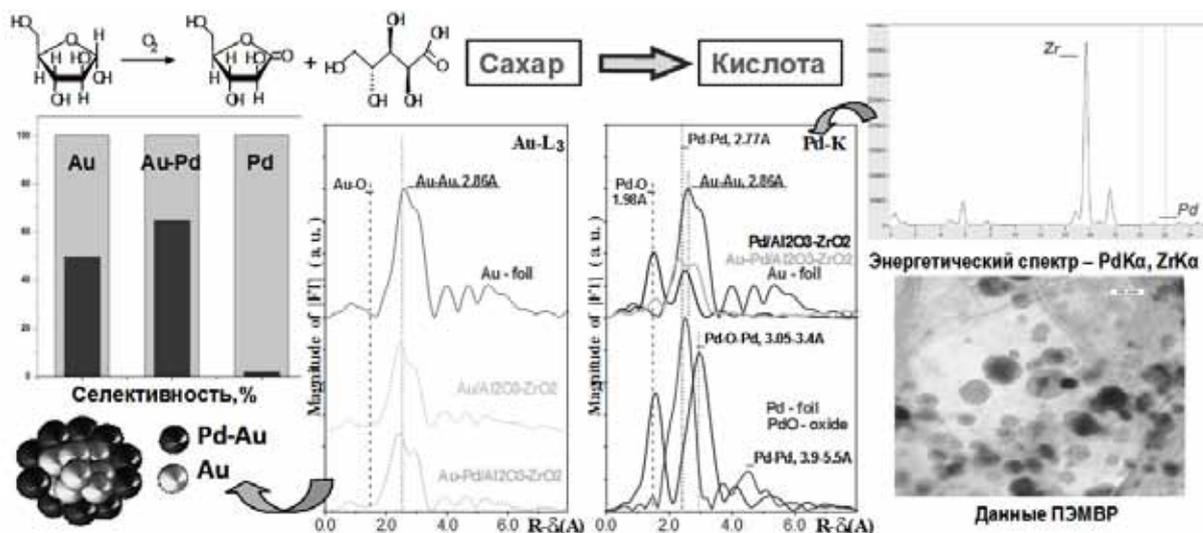


Рис.6.2.30. Применение флуоресцентной XAFS спектроскопии и 9-элементного ППД для исследования нанодисперсных низкопроцентных Au-Pd катализаторов.

(Au/Pd=5/1) наблюдалось значительное повышение селективности. Структурная информация, полученная XAFS методом необходима для дизайна оптимальных катализаторов с заданными структурно-функциональными свойствами. Ранее проведение такого исследования было невозможно, вследствие низкой концентрации нанесенных Me и значительного фонового вклада в от “тяжелой” ZrO₂ матрицы носителя. Применение 9-элементного ППД с быстродействующим цифровым спектрометрическим трактом и разработанного программного комплекса позволило получить достоверную информацию о биметаллических Au-Pd катализаторах.

Развита методика флуоресцентной XAFS спектроскопии в применении к низкопроцентным системам на “тяжелых” матрицах. Выполнено структурное XAFS исследование состояния и особенностей стабилизации Au и Pd в нанодисперсных гетерогенных катализаторах окисления сахаров. Показана перспективность данного подхода. Найдено, что в системе происходит образование nano-сплава Pd-Au, ответственного за высокую селективность катализатора. Рассмотрены варианты структурных моделей.

Исследование модельных поликомпонентных наноструктурированных катализаторов преобразования промышленно-важных субстратов.

Методами XAFS, РФА, ПЭМ проведено исследование модельной системы Cu-Cr-Fe перспективной для проведения процесса паровой конверсии CO. Катализатор представляет собой метастабильный разупорядоченный частично гидратированный оксид Fe³⁺, промотированный ионами хрома (~9 ат.%) и меди (4-7 ат.%). Активность катализатора в реакции паровой конверсии CO в области низких (менее 350°C)

температур значительно превышает активность известных Fe-содержащих катализаторов. Результаты исследования катализаторов позволяют предположить, что катионы меди в исходных образцах находятся в состоянии Cu²⁺ в тетрагонально-искаженном октаэдрическом окружении, а в условиях реакции паровой конверсии CO при температуре ниже 350 °C – в восстановленном состоянии, в виде ультрадисперсных (менее 2 нм) частиц металлической Cu⁰. Эти частицы определяют высокую активность катализатора при температурах ниже 350°C.

Методами XANES спектроскопии, EXAFS спектроскопии, электронной микроскопии, элементного ICP анализа, рентгеновской дифракции проведено комплексное исследование биметаллических Pd-M (M = Co, Ni, Zn, Ag, Ce) палладийсодержащих наноразмерных частиц, полученных из оригинальных комплексов Pd(OOCMe)₂M(OH)₂ (M = Ni(II), Co(II), Zn(II)) и Pd(OOCMe)₄Ag₂(HOOCMe)₂. Исследованы состав и морфология биметаллических наночастиц, а также электронное состояние атомов металлов. Каталитические свойства биметаллических наночастиц были изучены в сравнении со стандартным нанесенным катализатором Pd/SiO₂, на примере реакций каталитического разложения гидразина, восстановления U(VI) до U(IV) гидразином и муравьиной кислотой, в сравнении со стандартным нанесенным катализатором Pd/SiO₂. Установлено, что каталитическая активность наночастиц Pd-Ni значительно превосходит активность стандартного нанесенного катализатора Pd/SiO₂, содержащего такое же количество атомов палладия, тогда как наночастицы Pd-Co, Pd-Zn и Pd-Ag не катализируют изученные реакции. Подробно рассмотрены возможные варианты структурных моделей.

Исследование пространственно-коррелированных наноструктур и нанокomпозитных тонких пленок на основе полупроводниковых соединений изоэлектронного ряда германия.

Как известно, материалы на базе германия и соединений его изоэлектронного ряда (Ge, GaAs, Zn(S)Se и др.) традиционно применяются в различных областях техники и электроники, а в последнее время широко используются и наноразмерные структуры на их основе. Это привело к развитию методик (прежде всего, эпитаксиальных), позволяющих получать упорядоченно-расположенные нанообъекты. Одним из примеров подобных объектов являются квантовые точки Ge на поверхности монокристаллических Si, GaAs и других полупроводниковых материалов. Также все больший интерес привлекают нанокomпозиты на основе полупроводников в диэлектрических матрицах. Такие структуры позволяют не только избежать переноса заряда между отдельными квантовыми точками с помощью пространственного разделения элементов, но и защитить их от внешних воздействий. Применение матричной изоляции дает возможность значительно снизить эффективность рекомбинации экситонов и электрон-дырочных пар на поверхностных дефектах и дефектах полупроводника, что позволяет повысить квантовый выход люминесценции при использовании нанокomпозитов в фотовольтаических устройствах и открывает широкие перспективы дизайна элементов нанoeлектроники (диодов и переключателей нового поколения) на основе таких систем.

Методами EXAFS, СЭМ, АСМ, ПЭМ, РФА выполнены исследования наноструктур на основе Ge, ZnS, ZnSe, полученных методом термического испарения материала в условиях вакуума на пористые подложки Al_2O_3 . При синтезе варьировались режимы испарения, температуры конденсации, размеры пор подложки. Установлены общие закономерности и изучены механизмы образования наноструктур, их устойчивость к температурным обработкам. Показано, что геометрическое расположение и размеры нанонитей Ge, состоящих из мелких аморфных образований и наноструктур ZnSe и ZnS, репродуцируют пористую структуру матриц темплатов. Найдено, что более низкоразмерные структуры обладают высокой реакционной способностью, отжиг приводит либо к изменению степени кристаллизации, либо к фазовым переходам, не характерным для массивных систем.

Методами EXAFS, РФЭС, РФА выполнено исследование перспективных полупроводниковых материалов на основе объемных соединений Ga_2Se_3 , GaAs и наноструктур арсенида галлия. Порошки объемных материалов Ga_2Se_3 , GaAs были приготовлены измельчением моно-

кристаллов, нитевидные наноструктуры GaAs были получены методом термического испарения материала на пористую пленку Al_2O_3 . Для объемных материалов - Ga_2Se_3 , GaAs, было показано, что структурные данные (межатомные расстояния и кордчисла) хорошо согласуются с результатами расчетов структуры, исходя из кристаллографических параметров. Стехиометрия и атомное состояние образцов были аттестованы РФЭС и РФА. Установлено, что нитевидные наноструктуры имеют более упорядоченную локальную структуру и нестехиометрию состава по сравнению с объемными материалами.

Комплексные исследования низкопроцентных (от ~1%) наноструктурированных катализаторов нового поколения на основе благородных металлов.

Выполнено исследование особенностей стабилизации и состояния Pd для низкопроцентных моно- и биметаллических палладиевых катализаторов, нанесенных на оксидные носители методами XAFS (XANES/EXAFS) спектроскопии, РФЭС, ПЭМ. Показана возможность целенаправленного варьирования состояния сформированных на поверхности носителя оксидных наноструктур палладия от практически атомарно-диспергированного до наночастиц PdO. Рассмотрены возможные варианты структурных моделей. В настоящее время палладиевые нанесенные каталитические наносистемы активно используются для переработки промышленно важных субстратов, например, проведения индустриального процесса углекислотного риформинга метана в синтез-газ на основе мембранных технологий, а также для обезвреживания автомобильных выхлопов и выбросов промышленных отработанных газов. В работе использовались модельные низкопроцентные (~1%) катализаторы Pd/ Al_2O_3 и Pd-Mn/ TiO_2 , приготовленные методом пропитки по влагоемкости из водных растворов нитрата и хлорида палладия и на основе золь-гель метода из биметаллических ацетатных комплексов-предшественников. Установлено, что палладий в исследованных образцах находится преимущественно в виде ионов Pd(2+) в плоскостном ближайшем кислородном окружении. Наличие металлической фазы Pd⁰ в пределах точности метода не обнаружено. Показана возможность целенаправленного варьирования состояния сформированных на поверхности носителя оксидных наноструктур палладия от практически атомарно-диспергированного до наночастиц оксида палладия - PdO и рассмотрены возможные варианты их структурных моделей. Для биметаллических катализаторов показана роль второго металла для стабилизации активного компонента. Детальный комплексный анализ полученных структурных данных дает основание предположить, что для

промежуточных соединений (на стадии геля) в исследованных модельных Pd-Mn системах происходит образование дефектной нанофазы зарождения оксида палладия, состоящей как из остатков (фрагментов) исходных комплексов Pd-Mn, так и наночастиц PdO. Тогда как в конечных продуктах (гетерометаллических нанокластерных катализаторах), полученных на основе гетеробиметаллических карбоксилатных комплексов палладия, происходит образование высокодисперсной нанофазы оксида палладия стабилизированной на оксидном носителе TiO₂. Следует отметить, что возможные искажения локальной структуры (в сравнении с реперным массивным PdO) для данных наночастиц, по-видимому связаны как с размерными эффектами, так и влиянием ионов второго металла - Mn. Установлено наличие дефектных поверхностных нанофаз - MnO_x. Однако по всей видимости, большая часть ионов марганца внедряется в приповерхностную структуру анатаза, при этом происходит стабилизация изолированных локализованных по дефектам ионов и образование сложной нанофазы взаимодействия MnO_x-TiO_y.

Методами XAFS спектроскопии, электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, фотоэлектронной рентгеновской спектроскопии и элементного анализа выполнено исследование особенностей состояния атомов платины и палладия в промежуточных соединениях и продуктах (гетерометаллических нанокластерах и наноматериалах), образующихся в результате термических и редокс-превращений оригинальных комплексов палладия и платины, как перспективных прекурсоров каталитических систем. Было установлено, что в исходных комплексах платина и палладий существуют исключительно в виде ионов Pt(2+) и Pd(2+). Тогда как после термообработки на воздухе происходит формирование сложной фазы (металл + оксид) со стороны платины и высокодисперсной оксидной фазы со стороны палладия. При мягких восстановительных обработках в водороде образуются преимущественно металлические платиновые и палладиевые наночастицы. Следует отметить, что образование сплавов по-видимому, не происходит (либо вклад данной фазы весьма мал). Подробно рассмотрены возможные варианты структурных моделей.

Исследование перспективных катализаторов переработки продуктов ферментации биомассы в высококачественные компоненты био-дизеля и био-бензина.

Методами XAFS, РФЭС, РФА, ПЭМВР проведено исследование структурных особенностей активного компонента перспективных каталитических наносистем: Ta(W)-Re/Al₂O₃, используемых для наработки фракций алканов и олефинов C₄-C₁₂₊ - высококачественных компонентов биотоплив из продуктов ферментации

возобновляемой биомассы. Даже самые оптимистические современные прогнозы предполагают, что органическое топливо для двигателей внутреннего сгорания не выйдет из использования и будет широко применяться вплоть до начала следующего столетия. В связи с этим, в настоящее время значительное внимание уделяется поиску альтернативных традиционным (связанных преимущественно с нефтяными источниками), высокоэффективных путей развития мировой энергетики и нефтехимии, на основе возобновляемых ресурсов. Одним из возможных путей может быть переработка возобновляемой биомассы в энергоносители, поскольку полученные продукты ферментации биомассы (этанол, бутанол, изопентанол, глицерин и другие) могут служить компонентами топлив, как в чистом виде, так и после каталитической переработки, которая обеспечивает получение более эффективных и качественных топливных компонентов для био-дизеля и био-бензина.

Исходные образцы катализаторов были приготовлены золь-гель методом на основе различных моно- и биметаллических комплексов-предшественников осаждением на оксидный носитель γ-Al₂O₃. Существенных признаков образования смешанных Ta(W)-O-Re оксидных фаз не обнаружено. Однако достоверно установлено, что в данных системах происходит сильное взаимодействие активного компонента с носителем Al₂O₃, с образованием искаженных оксидных наноструктур: Ta(W)O_x, Ta(W)-O-Al, ReO_y, (ReO₃)_{адс}-O-Al. Для Ta(W)-Re систем было установлено, что рений присутствует преимущественно в виде Re(7+), тогда как тантал и вольфрам преимущественно в виде Me(5+). Также было обнаружено, что локальное окружение катализаторов, полученных из биметаллических предшественников, имеет некоторые отличия от такового для образцов, синтезированных на основе моно-комплексов. Подробно охарактеризован генезис исследуемых каталитических систем, состояние металлов (Ta, W, Re) и локальное окружение, показана взаимосвязь их структуры и каталитических свойств. Рассмотрены возможные варианты структурных моделей. Данные всех использованных методов хорошо согласуются между собой.

В ИОНХ РАН впервые синтезирован ряд новых биметаллических соединений PdM(m-OOCMe)₄L (M = Ni, Co, Zn, Mn; PЭ L = MeCN) со структурой типа приведенной на рисунке 6.2.31. С использованием станции EXAFS спектроскопии отработаны методы, позволяющие избирательно синтезировать наночастицы любого из приведенных ниже видов.

Заметным направлением развития энергетики является создание портативных источников энергии, включающих компактные генераторы водорода и топливные элементы. Такие

источники обеспечивают автономность получения электроэнергии.

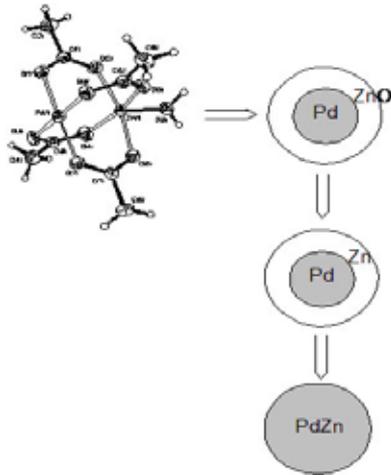


Рис.6.2.31. Конкретные PdZn биметаллические наночастицы являются перспективными катализаторами для процессов переработки ядерного топлива и радиоактивных отходов.

Высокоэффективные портативные генераторы водорода для топливных элементов в таких источниках энергии используют Rh/TiO₂ катализаторы. Впервые показано, что в наиболее эффективных катализаторах родий находится в виде металлических наночастиц, декорированных носителем, как показано на рисунке 6.2.32. Активность родия обусловлена

появлением положительного заряда на частицах металла. Полученные результаты позволяют увеличить срок службы таких источников.

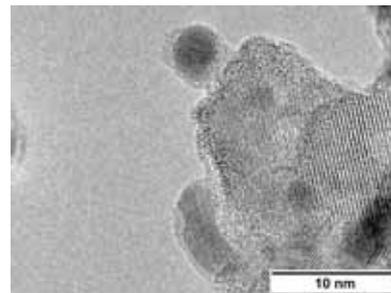


Рис.6.2.32.

Решение проблемы переработки попутных нефтяных газов непосредственно на месте добыче нефти может быть решено путем их в более ценные продукты, транспортировка которых является экономически выгодной. Одной из таких возможностей является гидрирование ацетилена, содержание которого в попутных газах велико, до этилена, который является более ценным химическим сырьем.

Для таких целей разрабатываются биметаллические Pd/Ga₂O₃ катализаторы. Впервые показано, что активность определяется образованием на поверхности палладия палладий-галлиевого сплава. Полученные результаты позволяют в дальнейшем контролировать процесс разработки более высокоэффективных катализаторов.

6.3 Работы на пучках СИ из ВЭПП-4М

6.3.1 Развитие методического обеспечения метрологической станции «Космос»

На станции Космос проводились работы по калибровке спектральной чувствительности кремниевых фотодиодов типа ФДУК-100УВ и АХУВ-100А1. Калибровка проводилась в спектральном диапазоне 80-1200 эВ и была выполнена с погрешностью 2%. Кроме того, было проведено исследование радиационной стойкости

ПЗС-матрицы. Основным результатом выполненных работ явилось развитие методического обеспечения станции. Следующим шагом в развитии разработанных методик предполагается их аттестация. Также получено свидетельство об аттестации ранее разработанной методики выполнения измерений мощности ЭУФ излучения (80-120 эВ) для целей проекционной нанолитографии (свидетельство № 113-01.00249-2011 от 20 октября 2011 года).

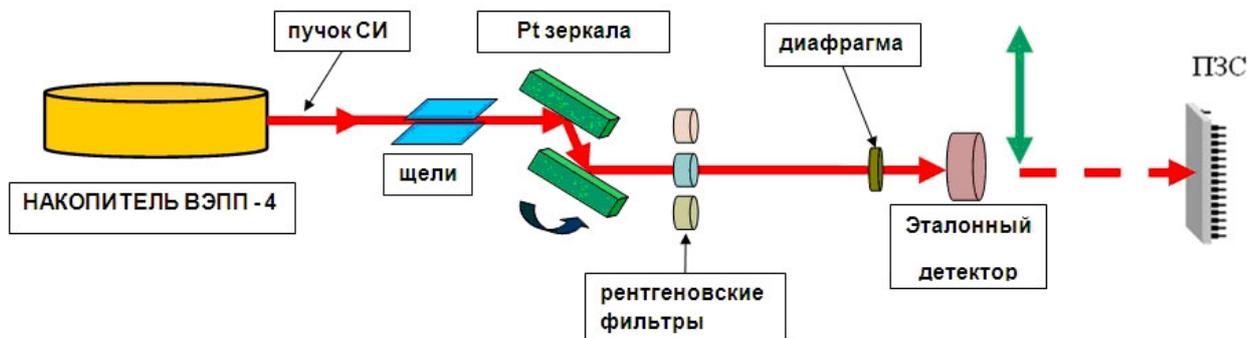


Рис.6.3.1. Белый пучок СИ проходит через пару зеркал и фильтр, попадает на матрицу. Для проверки правильности расчетов мощность полученного квазимонохроматического пучка измеряется эталонным детектором (эти измерения проводятся на пониженном токе накопителя).

Исследование радиационной стойкости ПЗС-матрицы.

Участок матрицы размером 1x1 мм подвергался облучению пучком СИ, прошедшим через фильтр и зеркала полного внешнего отражения (Рис.6.3.1). Спектральная мощность СИ, приходящая на матрицу, приведена на Рис.6.3.2.

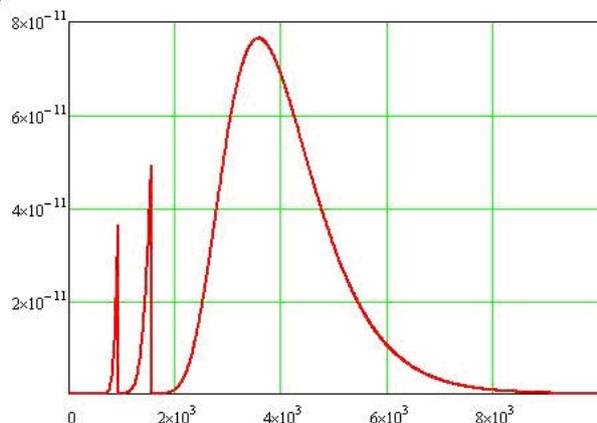


Рис.6.3.2. Вертикаль – спектральная мощность излучения (Вт/эВ), в диафрагму 1 мм², для станции Космос (30 м до точки излучения, ток накопителя 1 мА, энергия – 1800 эВ). фильтр - 1 мкм Cu + 10 мкм Al.

Результатом деградации является нарастание темнового тока на участке матрицы, подвергнутого облучению (Рис.6.3.3).

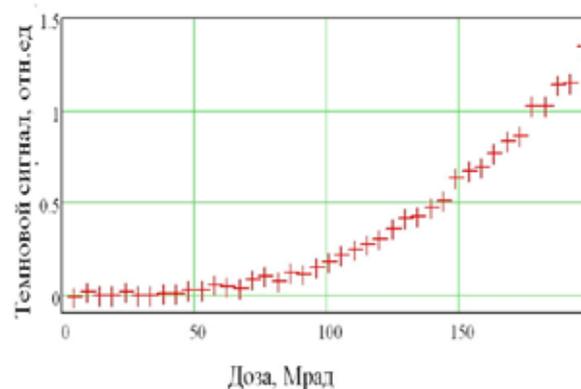


Рис.6.3.3. Нарастание темнового тока участка матрицы в зависимости от дозы облучения.

6.4 Работа с пучками терагерцового излучения

6.4.1 Новосибирский терагерцовый лазер на свободных электронах

Новосибирский лазер на свободных электронах (ЛСЭ) по-прежнему остается самым мощным в мире источником терагерцового излучения. Максимальная величина средней мощности излучения, достигнутая при частоте повторения импульсов 11,2 МГц, составляет 500 Вт. В 2011 году Новосибирский ЛСЭ работал на пользователей около 1000 часов. В стандартном режиме работы на пользователей при частоте повторения 5,6 МГц средняя мощность излучения на рабочих станциях зависела от длины волны излучения и настройки ускорительной системы и была порядка 100 Вт. При этом излучение ЛСЭ линейно поляризовано и полностью пространственно когерентно, длина волны перестраивается в интервале 40 – 240 мкм, относительная спектральная ширина составляет менее 1% (полная ширина на полувысоте), а длительность импульсов - менее 100 пс (полная ширина на полувысоте).

В 2011 году в работах на ЛСЭ непосредственно участвовали сотрудники Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Института химической кинетики и горения СО РАН, Института цитологии и генетики СО РАН,

Института неорганической химии СО РАН, Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Института теоретической и прикладной механики СО РАН, Конструкторско-технологического института научного приборостроения, Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН (Москва), а также преподаватели, студенты и аспиранты Новосибирского государственного университета и Новосибирского государственного технического университета.

Одной из двух основных задач 2011 года была организация регулярных работ на шести рабочих станциях пользователей. Второй задачей был подготовка к запуску третьей очереди Новосибирского ЛСЭ.

6.4.2 Примеры экспериментов на пучках ТГц излучения

Изучение нетермического воздействия электромагнитного излучения на различные уровни организации живых систем.

На станции продолжены эксперименты по изучению нетермического воздействия электромагнитного излучения на различные уровни организации живых систем на примере терагерцового излучения лазера на свободных электронах. Для экспонирования биологических об-

разцов была изготовлена специальная кювета (Рис.6.4.1).



Рис.6.4.1 Прозрачная в терагерцовой области кювета для экспонирования объектов.
1-полипропиленовые плёнки толщиной 40 мкм;
2-прокладка толщиной 40 мкм.

Образец помещается между двумя натянутыми полипропиленовыми пленками толщиной 40 мкм. Объем кюветы составляет 50 мкл при расстоянии между пленками в 25 мкм и диаметром кюветы - 50 мм. Сечение пучка излучения в плоскости кюветы представляет собой вытянутый эллипс. Для обеспечения равномерного экспонирования образца по всему объему кювету вращали с помощью специального механизма. Ось вращения проходила через край эллипса.

Для контроля температуры жидких образцов при поглощении терагерцового излучения используется высокочувствительный тепловизор ТКВр-СВИТ101 производства Института физики полупроводников СО РАН с чувствительностью не хуже 0,027 °C с возможностью динамической регистрации изменения температурных полей.

Определение доз, вызывающих реакцию различных геносенсоров, в зависимости от времени и мощности облучения.

Для правильной интерпретации результатов воздействия терагерцового излучения на живые объекты необходимо обеспечить равномерное облучение по всему объему жидкого образца и при этом температуру образца необходимо поддерживать в узких рамках. Характерная длина поглощения терагерцового излучения водой составляет около 50 микрон. Сечением пучка излучения в плоскости образца является вытянутый эллипс. Поэтому в экспериментах использовали описанную выше кювету. Поскольку объем жидкого образца в кювете оставался неизменным и требовалось поддерживать постоянную температуру образца во всех экспериментах, то средняя плотность мощности также оставалась неизменной во всех экспериментах. Дозу облучения варьировали путём изменения времени облучения образца. Средняя

плотность мощности излучения составляла 1,4 Вт/см². Время облучения составляло 5, 10 и 15 минут. Соответственно, доза облучения составляла 420 Дж/см², 840 Дж/см² и 1260 Дж/см².

В качестве объектов исследования на данном этапе для определения доз терагерцового излучения выбраны геносенсорные конструкции (*E.coli/pKatG-gfp*), чувствительные к окислительному стрессу и созданные на основе промотора гена каталазы. Принципиальная возможность вовлечения гена ответа на окислительный стресс в ответ на воздействие терагерцового излучения нами показана ранее на примере промотора гена *Dps* (геносенсор *E.coli/pDps-gfp*).

Для тестирования возможности вовлечения генов поддержания гомеостаза переходных металлов, связанных с контролем окислительно-восстановительных реакций клеток *E.coli* в ответ на терагерцовое излучение, использовали вновь созданную геносенсорную конструкцию на основе промотора гена *copA*.

Облучение клеток геносенсоров проводили как описано выше. Интенсивность флуоресценции *Gfp*-белка определяли при помощи планшетного флуориметра. Проведена серия экспериментов облучения клеток геносенсора *E.coli/pKatG-gfp* терагерцовым излучением при длинах волн, составляющих 130 мкм, 150 мкм и 200 мкм. Для примера, на рисунке 6.4.2 приведены значения уровня флуоресценции GFP-белка в клетках геносенсора после однократного облучения терагерцовым излучением с плотностью мощности 1,4 Вт/см² и длиной волны 130 мкм в течение 15 минут и уровень флуоресценции GFP-белка в этих же клетках, индуцированный перекисью водорода в различных концентрациях (положительный контроль). Значения интенсивности флуоресценции в клетках, не подвергавшихся никаким воздействиям (отрицательный контроль) вычтены из значений эксперимента и положительного контроля.

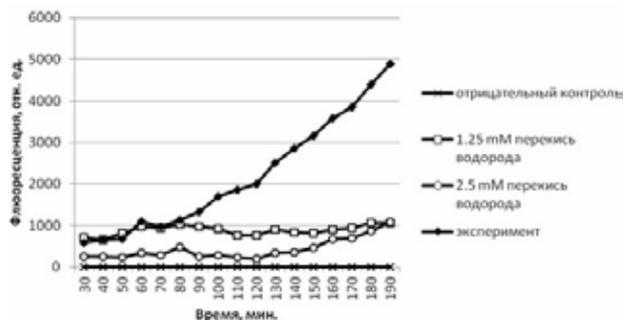


Рис.6.4.2. Флуоресценция GFP-белка в клетках геносенсора *E.coli/pKatG-gfp* в результате облучения терагерцовым излучением с длиной волны 130 мкм в течение 15 мин. Отрицательный контроль – необлучённые клетки, перекись водорода H₂O₂ - индуктор (положительный контроль).

Облучение терагерцовым излучением в течение 15 минут при всех изученных длинах волн приводит к индукции экспрессии GFP-белка в клетках геносенсора *E.coli/pKatG-gfp*. При этом облучение геносенсора в течение 5 и 10 минут не приводит к ярко выраженному ответу в виде увеличения интенсивности флюоресценции.

Показано, что клетки геносенсора *E.coli/pKatG-gfp* реагируют сходным образом как на присутствие перекиси водорода в различных концентрациях, так и на воздействие терагерцовым излучением. При этом ответ клеток на воздействие терагерцовым излучением хотя и развивается несколько позже, однако характеризуется существенно более высокой интенсивностью флюоресценции. Следует отметить, что различные клоны имеют разный базовый уровень флюоресценции и разный уровень ответа на индукцию синтеза GFP-белка перекисью водорода. Количество клеток на каждом рисунке при любом временном срезе было приблизительно одинаковым, что свидетельствует об увеличении синтеза GFP-белка в клетках геносенсора *E.coli/pKatG-gfp*. Клетки геносенсора, подвергнутые однократному воздействию терагерцовым излучением, постоянно продуцируют GFP-белок на протяжении пяти часов, что эквивалентно, приблизительно восьми жизненным циклам.

Оценка общего метаболического неблагополучия организмов *Escherichia coli*, *Chlorella vulgaris*, *Daphnia magna* под воздействием терагерцового излучения

Для оценки общего метаболического неблагополучия организмов под воздействием терагерцового излучения была подобрана трехкомпонентная тест-система, состоящая из организмов различных трофических уровней. Тест-система состояла из прокариотических и эукариотических организмов, хорошо растущих в лабораторных условиях и обладающих высокой чувствительностью к наиболее распространенным загрязнителям природной среды.

Состав тест-системы.

Escherichia coli относится к прокариотам, гетеротрофам. В работе использован штамм DH 5 alpha, который широко используется в качестве санитарно-показательного организма (рис.6.4.3, А).

Chlorella vulgaris (Хлорелла обыкновенная) относится к низшим растениям, эукариотам, автотрофам, продуцентам (рис.6.4.3, Б). Используется во многих лабораториях мира, поэтому результаты биотестирования, полученные с ее помощью, можно сравнивать с имеющимся мировым банком данных.

Daphnia magna (Дафния) относится к низшим ракообразным, отряду ветвистоусых

(рис.6.4.3, В). Является часто используемым для биотестирования организмом.

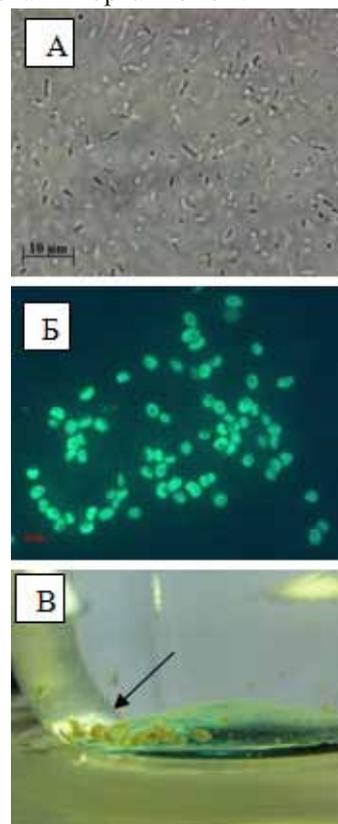


Рис. 6.4.3 Морфология использованных в опыте тест-организмов: *Escherichia coli* (А), *Chlorella vulgaris* (Б), *Daphnia magna* (В), стрелкой показано скопление взрослых особей Дафнии в сосуде для культивирования.

Для облучения тест-объектов использовали описанную выше кювету с прозрачными в терагерцовой области полипропиленовыми окнами (рис.6.4.1). Толщина облучаемого слоя жидкости составляла 40 мкм для культур *Escherichia coli* и *Chlorella vulgaris*. В случае *Daphnia magna* толщина слоя между пластинами была увеличена до 800 мкм в соответствии с размерами объекта, за один раз в кювету помещали 4-5 дафний. Облучение проводили в течение 1 часа. Температуру поддерживали согласно таблице 6.4.1, изменяя среднюю мощность излучения.

Таблица 6.4.1. Температурные режимы в эксперименте.

Объект	Температура, °С
<i>Escherichia coli</i>	36 ± 2°С
<i>Chlorella vulgaris</i>	28 ± 2°С
<i>Daphnia magna</i>	21 ± 2°С

Воздействие терагерцового излучения на *E. coli* учитывали по изменению численности колоний (КОЕ), выросших на агаризованной среде Луриа-Бертани в контрольном и облученном образцах. В экспериментах с хлореллой учиты-

вали оптическую плотность клеточной суспензии до и после воздействия на нее терагерцового излучения. В экспериментах с дафнией учитывали количество особей, выживших после нахождения в экспериментальной кювете. В качестве контроля брали особи, не подвергавшиеся воздействию терагерцового излучения.

Все эксперименты проводили в трехкратной повторности с соблюдением стерильности.

Для оценки степени воздействия терагерцового излучения на тест-объекты использовали рекомендуемые методики учета численности организмов до и после воздействия. Для *E.coli* подсчитывали количество колоний, выросших на агаризованной питательной среде (КОЕ/мл); для *S.vulgaris* – оптическую плотность суспензии водоросли в питательной среде, для *D.magna* – количество выживших после облучения особей.

Для получения сопоставимых результатов по итогам тестирования рассчитывали индекс токсичности (ИТФ) оцениваемого фактора:

$$\text{ИТФ} = \text{ТФ}_0 / \text{ТФ}_к,$$

где ТФ_0 – значение регистрируемой тест-функции в опыте, $\text{ТФ}_к$ – в контроле. Величина ИТФ изменяется от 0 до М, где М – любая положительная величина.

С целью формализации процедуры сопоставления полученных результатов использовали шкалу токсичности, разработанную Кабириным Р.Р. В качестве обобщенного критерия для полученных ИТФ в разных экспериментах использовали среднее значение этой величины. По полученному среднему значению определяли индекс токсичности каждого исследуемого раствора и его класс токсичности:

$$\text{ИТФ}_{\text{ср}} = (\text{ИТФ}_1 + \text{ИТФ}_2 + \text{ИТФ}_3) / 3,$$

где $\text{ИТФ}_{\text{ср}}$ – среднее значение индекса токсичности; ИТФ_1 – индекс токсичности, рассчитанный по *Escherichia coli*, ИТФ_2 – по *Chlorella vulgaris*, ИТФ_3 – по *Daphnia magna*.

Результаты эксперимента.

В эксперименте при воздействии на клетки *Escherichia coli* терагерцового излучения наблюдалось стимуляция роста, заключающаяся в увеличении численности колоний (табл. 6.4.2, рис. 6.4.4).

В экспериментах с *Chlorella vulgaris* наблюдалось значительное увеличение оптической плотности клеточной суспензии облученного образца по сравнению с контролем (табл.6.4.3, рис. 6.4.5), что свидетельствует о стимулирующем эффекте терагерцового излучения на культуру *Chlorella vulgaris*.

Во всех экспериментах с *Daphnia magna* отмечалась частичная гибель особей (таблица 6.4.4, рис. 6.4.6).

Таблица 6.4.2. Значения численности колоний *Escherichia coli*.

№	Численность, КОЕ/мл
Контроль	$9,5 \cdot 10^7 \pm 5\%$
Эксперимент	$1,1 \cdot 10^8 \pm 5\%$

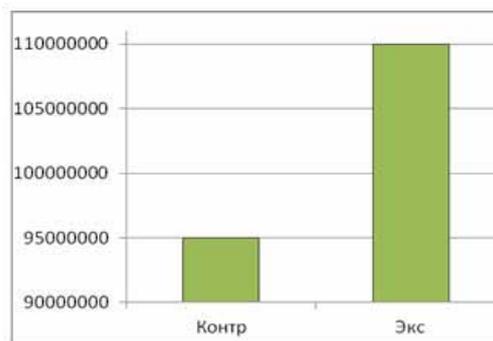


Рис. 6.4.4 Изменение численности *Escherichia coli* в результате воздействия терагерцового излучения.

Таблица 6.4.3. Оптическая плотность культур *Chlorella vulgaris* до и после облучения

№	Оптическая плотность, отн ед.
Контроль	$0,325 \pm 15\%$
Эксперимент	$0,715 \pm 15\%$

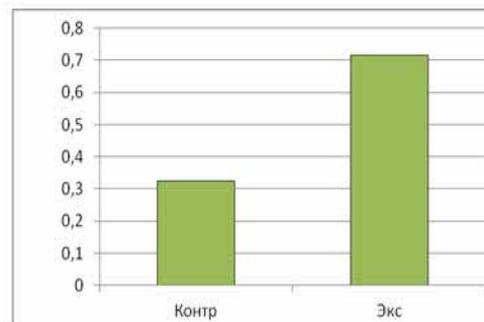


Рис. 6.4.5 Изменение оптической плотности культуры *Chlorella vulgaris* в контрольном и экспериментальном образцах.

Таблица 6.4.4. Численность особей *Daphnia magna* до и после облучения.

№	Число выживших особей
Контроль	30 из 30
Эксперимент	24 из 30

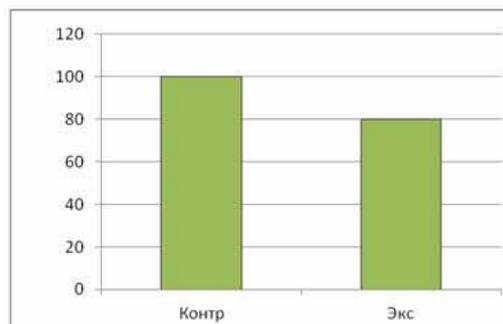


Рис. 6.4.6 Изменение численности *Daphnia magna* (в %) в контрольном и экспериментальном образце.

В таблице 6.4.5 приведены значения индекса токсичности (ИТФ) оцениваемого фактора, рассчитанный по методике, описанной выше. Как видно из таблицы 6.4.5, среднее значение ИТФ составило 1,4.

Таблица 6.4.5. Значения ИТФ и класс токсичности образцов

ИТФ по <i>E. coli</i>	ИТФ по <i>C.vulgaris</i>	ИТФ по <i>D.magna</i>	Общая токсичность (ИТФ _{ср})	Класс токсичности
1,2	2,2	0,8	1,4	VI стимуляция

Таким образом, на стандартной тест-системе было проверено влияние терагерцового излучения на метаболическое неблагополучие организмов разных трофических уровней и было показано, что излучение в данном диапазоне не угнетает процесс размножения тест-организмов. Более того, в случае с *E.coli* и *C. vulgaris* наблюдался стимулирующий эффект излучения на организмы.

6.4.3 Третья очередь Новосибирского ЛСЭ

Для продвижения в более высокочастотную часть терагерцового диапазона была создана вторая очередь лазера на свободных электронах (ЛСЭ). Для создания ЛСЭ, работающего в диапазоне частот 3 – 8 ТГц, был построен и запущен первый в мире ускоритель-рекуператор (УР) с двумя дорожками (то есть с четырехкратным прохождением электронного пучка через высокочастотные резонаторы). Продолжаются работы по созданию третьей очереди Новосибирского ЛСЭ (10 – 50 ТГц).

Полномасштабный УР использует ту же ускоряющую ВЧ-структуру, что и УР первой очереди, но расположен, в отличие от последнего, в горизонтальной плоскости (см. Рис.6.4.7). Таким образом, не требуется демонтаж одного для постройки другого. Выбор режима работы осуществляется простым переключением поворотных магнитов.

ЛСЭ второй очереди размещен на второй дорожке УР. Средняя мощность его излучения составляет 0,5 кВт, а длина волны перестраивается от 40 до 80 микрон. Как и ЛСЭ первой очереди, ЛСЭ второй очереди по средней мощ-

ности излучения значительно превосходит аналогичные зарубежные установки. В дальнейшем планируется установить на последнюю (40 МэВ) дорожку УР мощный ЛСЭ ближнего ИК диапазона в области длин волн 6 – 30 мкм (ЛСЭ третьей очереди).

Магнитовакуумная система третьей очереди ЛСЭ расположена на третьей и четвертой дорожках УР. Она состоит из 10 поворотных магнитов, 7 больших и 26 малых магнитных квадрупольных линз. Кроме того, в нее входят вакуумные камеры с магниторазрядными насосами, датчиками положения электронного пучка, вакуумными клапанами и узлами вывода синхротронного излучения.

Для транспортировки электронного пучка вдоль УР необходимо разместить фокусирующие элементы. В нашем случае это квадрупольные линзы. Для возвращения электронного пучка в поглотитель после прохождения системы ондуляторов из-за достаточно большого энергетического разброса необходимо обеспечить значительную доступную апертуру в местах, где есть ненулевая дисперсия. В нашей системе мы используем два типа линз - с апертурой (диаметром вписанной окружности) 110 мм и с апертурой 170 мм.

Из-за недостатка места в ускорительном зале и необходимости доступа ко всем элементам магнито-вакуумной системы все элементы последней подвешены к горизонтальным балкам, уложенным поперек длинного ускорительного зала.

Отдельные элементы крепятся к основным балкам через промежуточные подвески, оснащенные регулировочными устройствами для точной выставки положения элемента.

Сначала были установлены малые поворотные магниты и верхние половины больших квадрупольных линз. Затем на алюминиевые подставки помещены малые квадрупольные линзы, как это показано на рис.6.4.9.

Вакуумная система отдельных дорожек ускорителя-рекуператора состоит из вакуумных камер поворотов, расположенных симметрично справа и слева, вакуумных камер четырех прямолинейных промежутков и вакуумной камеры байпаса. Откачка обеспечивается семью магниторазрядными насосами. Большая часть вакуумных камер изготовлена из алюминия. Выбор алюминия связан с тем, что он име-

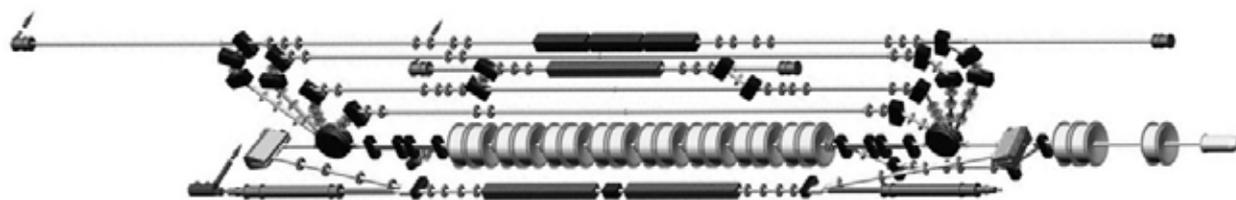


Рис.6.4.7 Общий вид магнитной системы ускорителя-рекуператора.

ет высокую теплопроводность и технологичен, поэтому можно обеспечить хорошее охлаждение вакуумных камер. Кроме того, атомный номер алюминия относительно мал, что снижает среднюю энергию тормозного излучения, и алюминий не образует при облучении радиоактивных веществ.

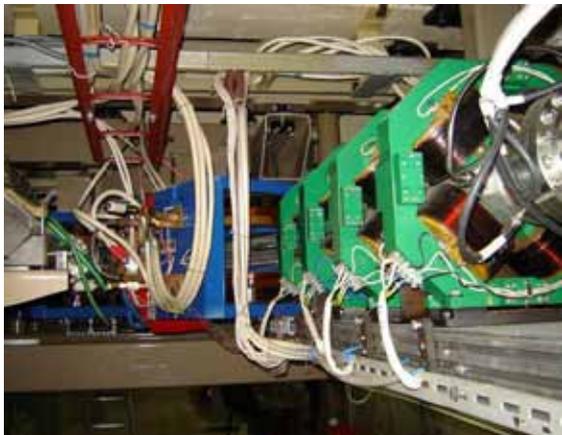


Рис.6.4.9 Малые квадрупольные линзы (на переднем плане, справа) и малые поворотные магниты (на дальнем плане).

Апертуры вакуумных камер были выбраны с учетом расчетных огибающих электронного пучка и максимизации энергетического акцептанса рекуператора.

Вакуумные камеры поворотов выполнены в виде коробов с водяным охлаждением стенок. Для вакуумных камер прямолинейных промежутков разработаны, заказаны и изготовлены специальные трубы квадратного наружного сечения с центральным каналом диаметром 82 мм и каналами для водяного охлаждения диаметром 8 мм по углам квадрата. Эти трубы служат распределенными коллиматорами электронного пучка. Для установки ондуляторов служит коробчатая камера. Вакуумная система включает 25 емкостных датчиков положения электронного пучка и 10 узлов для наблюдения синхротронного излучения.

Для улучшения степени группировки электронов и снижения мощности, падающей на зеркала оптического резонатора ЛСЭ третьей очереди, была предложена модификация электронного вывода. Она представляет собой оптический клистрон, в группирователе которого помещен радиатор. Параметры ондуляторов приведены в таблице 6.4.6.

Магнитные блоки крепятся на верхнем и нижнем основаниях ондулятора. Основания, в свою очередь, держатся на приводных винтах, закрепленных на раме. Вращение винтов по-

Таблица 6.4.6 Основные параметры ондуляторов.

Материал	Зазор, см	В, кГц	Период d_w , см	К	К-во периодов	N, шт
Неодим-железо-бор	2,5-6,0	5,2-0,8	6	3,1-0,5	33	3

зволяет регулировать величину рабочего зазора ондулятора и, следовательно, амплитуду его поля. Все узлы ондуляторов (кроме покупных механических комплектующих) изготовлены в экспериментальном производстве ИЯФ СО РАН. К настоящему времени собраны все три ондулятора (см. Рис.6.4.10).



Рис. 6.4.10 Один из трех ондуляторов третьей очереди в процессе сборки.

Кроме того, для непрерывного измерения спектра излучения была создана станция с частично прозрачным зеркалом и спектрометром.

6.4.4 Результаты 2011 года и планы на 2012 год

Основные результаты работ в 2011 году:

1. Обеспечена регулярная работа пользователей на ЛСЭ первой очереди (длины волн 110-240 микрон) и ЛСЭ второй очереди (длины волн 40-80 микрон).
2. Продолжена работа над созданием новых станций. Создана станция для непрерывного измерения спектра излучения.
3. Закончены сборка, наладка и геодезическая выставка элементов четырехдорожечного ускорителя-рекуператора для ЛСЭ третьей очереди.

Планы на 2012 год:

1. Запустить УР с четырьмя дорожками.
2. Продолжить работу над созданием новых станций.
3. Продолжить проектирование и изготовление узлов испытательного стенда ВЧ инжектора.
4. Продолжить работу пользовательских станций.
5. Провести магнитные измерения и коррекцию магнитного поля ондуляторов ЛСЭ третьей очереди.

6.5 Разработка и создание специализированных генераторов СИ

В 2011 году продолжались работы по разработке и изготовлению различных сверхпроводящих криогенно-магнитных систем для генерации СИ.

В феврале 2011 был изготовлен и успешно испытан 7-полюсный прототип магнитной системы многополюсного вигглера с полем 7,5 Т (рис.6.5.1) с магнитным зазором 26 мм и периодом 200 мм для накопителя CAMD-LSU (США). В настоящее время ведется изготовление полноразмерной 15-полюсной магнитной системы. Особенностью этого вигглера является экстремально высокая величина запасенной энергии магнитного поля – 800 кДж. Это требует особого внимания как к системе защиты обмоток при срыве сверхпроводимости, так и к механической устойчивости медного лайнера к воздействию пондеромоторных сил. В сентябре 2012 запланирована установка и запуск этого вигглера непосредственно на накопительном кольце CAMD-LSU.

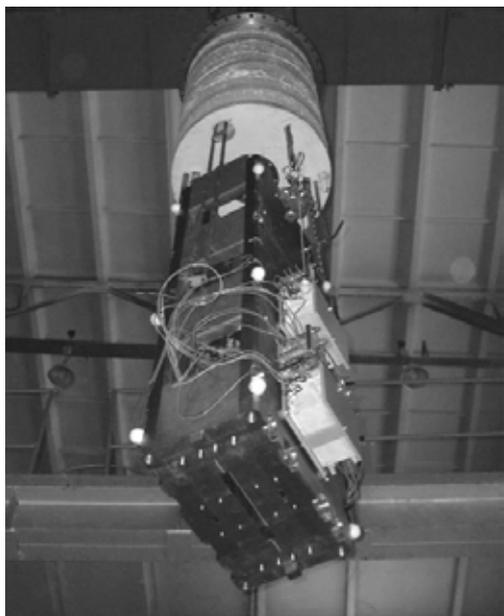


Рис.6.5.1. Внешний вид 7-полюсного прототипа многополюсного сверхпроводящего вигглера с полем 7,5 Т для накопителя LSU-CAMD (США) перед опусканием в погружной криостат.

В октябре 2011 на источнике СИ ALBA-CELLS (Испания) был запущен в эксплуатацию уникальный 119-полюсный сверхпроводящий вигглер с рабочим полем 2,1 Т и длиной периода 30 мм (Рис.6.5.2). Межполюсный зазор и апертура для пучка составляют 12,6 мм и 8,5 мм соответственно. Полная мощность излучения в горизонтальном угле 2 мрад составляет около 16 кВт при токе электронного пучка 0,4 А и энергии 3 ГэВ. Были проведены успешные испытания вигглера с пучком электронов с энер-

гией электронов 3 ГэВ. Рентгеновский пучок высокой яркости был выведен в канал экспериментальной станции «Порошковой дифрактометрии». Учитывая, что эмиттанс источника СИ ALBA меньше 5 нанометров и максимальный ток электронов 0,4 А, яркость этого пучка будет одним из самых высоких в мире для диапазона энергий фотонов 5-50 КэВ с непрерывным спектром. Для энергий фотонов меньше 5 кэВ спектр излучения имеет ондуляторный характер.

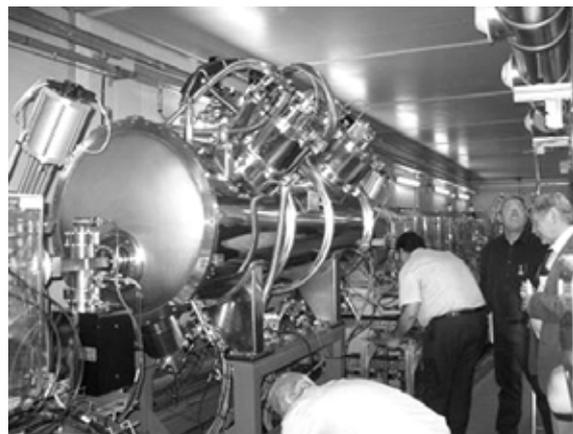


Рис.6.5.2 Сверхпроводящий 119-полюсный вигглер с полем 2,1 Т на накопителе ALBA-CELLS (Испания).

В ноябре 2011 была изготовлена и успешно испытана в погружном криостате полноразмерная магнитная система 63-полюсного вигглера (Рис.6.5.3) с периодом 51 мм, магнитным полем 4,0 Т и межполюсным зазором 15,2 мм для накопителя Australian Synchrotron (Мельбурн). В настоящее время ведется изготовление собственного криостата для этого вигглера. В мае 2012 запланировано испытание готового вигглера, а в июле 2012 предполагается его установка и запуск непосредственно на накопительном кольце Australian Synchrotron.



Рис.6.5.3 Процесс сборки сверхпроводящего 63-полюсного магнита с полем 4,0 Т и периодом 51 мм для накопителя Australian Synchrotron (Мельбурн).

Наряду с проектированием и изготовлением новых сверхпроводящих вигглеров, все большего внимания начинают требовать к себе вставные устройства, уже введенные в эксплуатацию за последние годы и работающие в различных центрах СИ. В частности, на последнем запущенном в работу вигглере (ALBA-CELLS, Испания) было применено несколько удачно найденных технических решений, которые привели к значительному уменьшению расхода жидкого гелия и улучшили общую надежность криостата. Поэтому, как только возникла такая возможность, нами была произведена соответствующая модернизация нескольких уже действующих вигглеров. В частности на двух вигглерах с полем 3,5 Т и 4,3 Т, которые работают на накопителе DLS (Англия) с 2006 и 2009 года соответственно, были установлены медные лайнеры новой конструкции (рис.6.5.4). К тому же, на этих двух вигглерах и на вигглере с полем 3,6 Т, работающем с 2009 года на накопителе LNLS (Бразилия), была модернизирована схема охлаждения специальных адаптеров, обеспечивающих плавный переход между вакуумной камерой накопителя и медными лайнерами вигглеров. Эти изменения конструкции позволили без особых материальных затрат значительно улучшить характеристики этих уже действующих криостатов.

В ноябре 2011 была так же устранена проблема, связанная с механической неустойчивостью медного лайнера при срыве сверхпроводимости на 21-полюсном вигглере с полем 7,5 Т, работающем с 2007 года на накопителе Сибирь-2 в Курчатовском институте в Москве. Особенностью данного вигглера является очень высокий уровень магнитного поля (7,5 Т) и большая запасенная энергия поля (520 кДж), что приводило при срывах сверхпроводимости к механической деформации медного лайнера за счет действия пондеромоторных сил. Про-

блему удалось решить, значительно оптимизировав и изменив конструкцию лайнера. Дело в том, что к лайнеру, который представляет собой медную камеру эллиптического сечения, предъявляются довольно противоречивые требования. С одной стороны, лайнер, который, собственно, предназначен для защиты сосуда с жидким гелием от нагрева электромагнитным полем электронного пучка, должен был иметь хорошую электропроводность и теплопроводность. С другой стороны, лайнер должен иметь низкую электропроводность, так как при срыве сверхпроводимости происходит резкое изменение магнитного поля, пронизывающего стенки лайнера, что приводит к появлению наведенных токов и, следовательно, появлению пондеромоторных сил, деформирующих этот лайнер. Благодаря проведенным дополнительным расчетам, была найдена оптимальная форма сечения лайнера, отвечающая одновременно обоим требованиям. Результат испытаний модернизированного лайнера показал правильность выбора такой конструкции.

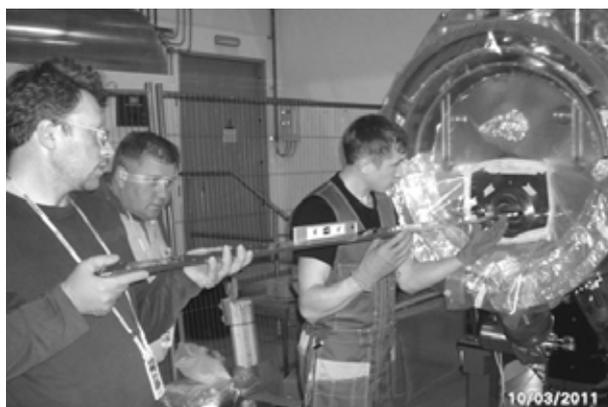


Рис.6.5.4 Процесс установки нового лайнера на многополюсном 3,5 Т вигглере на накопителе Diamond Light Source (Англия).

6.6 Конференции, совещания, семинары

С 10 по 13 октября 2011 года в нашем институте прошла очередная четвертая Школа молодых специалистов по синхротронному излучению. Организатором Школы традиционно выступил Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (Сибирский центр синхротронного и терагерцевого излучения).

Первая подобная школа состоялась в ИЯФ СО РАН в 1984 году, затем — в 1985 и в 1987 годах. После длительного перерыва эта традиция возобновилась в 2008 году.

В Школе нынешнего года приняли участие около шестидесяти молодых ученых, из них: около пятнадцати человек из различных городов России (в основном из Томска, а так же из Омска, Екатеринбурга, Иркутска), осталь-

ные — из Новосибирских институтов, включая ИЯФ СО РАН. К сожалению, необходимо констатировать падение интереса молодых ученых к Школе по синхротронному излучению — в этом году участие приняло всего 60 человек (в 2008 году было 100 человек, в 2009 - 120, в 2010 - 80 человек), да и они не все ходили на лекции.

Особенностью нынешней Школы было ее совмещение с третьим передвижным Российско-Германским семинаром, который каждый год проводится в разных странах. В нынешнем году он был по России, до Новосибирска побывав в Москве и Екатеринбурге. В составе участников этого семинара - десять молодых специалистов из Германии и десять - из российских учреждений. В связи с этим традиционная программа

Школы по СИ претерпела некоторые изменения, например, весь первый лекционный день ведущие специалисты читали свои лекции на английском языке.

В остальном на Школе были традиционно представлены основные направления исследований на синхротронном излучении: малоугловая дифракция, EXAFS, элементный анализ,

LIGA-технология, метрология, теория СИ, генерация и использование терагерцевого излучения. Как всегда, иногородние участники Школы получили возможность познакомиться с аппаратурой Сибирского центра СИ - прошли ознакомительные практические занятия на его станциях.

7
Радиофизика
и
электроника

Введение

Работы ИЯФ СО РАН в области радиофизики и электроники сосредоточены, в основном, в Радиофизической лаборатории. Основная тематика лаборатории связана с разработкой и созданием радиофизических систем для ускорителей и накопителей заряженных частиц, других электрофизических установок и стендов Института.

Сотрудники лаборатории занимаются разработкой разнообразного радиоэлектронного оборудования: систем питания, управления, диагностики, систем компьютерного управления; занимаются разработкой высокочастотных ускоряющих систем и источников ВЧ и СВЧ энергии, исследованием поведения пучков заряженных частиц во взаимодействии с ускоряющими системами и с другими элементами и устройствами ускорителей и накопителей заряженных частиц. Очевидно, что основные результаты работы лаборатории являются частью общих результатов исследований и работ, проводимых на действующих комплексах: ВЭПП-4, ВЭПП-2000, ЛСЭ, Инжекционного комплекса, работ по физике плазмы.

7.1 Источники питания электрофизических установок

7.1.1 Источники стабилизированного тока

Разработка прецизионных источников стабилизированного тока электрофизических установок является одной из главных задач Лаборатории. Прецизионные источники постоянного тока служат, главным образом, для питания электромагнитов накопителей заряженных частиц. Выходной ток таких источников, в зависимости от задачи, имеет значение от единиц ампер до десятков килоампер. Соответственно, выходная мощность - от десятков ватт до сотен киловатт и единиц мегаватт. Источники тока, как правило, имеют широкий диапазон регулирования величины тока и высокую точность регулирования и стабилизации (погрешность 0,01 % и меньше). Основные результаты работы, выполненной в 2011 году по разработке и изготовлению источников стабильного тока, приведены ниже:

- Продолжена работа по модернизации электроники прецизионных источников тока серии «ИСТ». Источник тока типа «ИСТ» («Источник Стабильного Точка») состоит из сетевого понижающего трёхфазного трансформатора, управляемого тиристорного выпрямителя с LC – фильтром, канала активного подавления пульсаций и электроники управления и стабилизации тока. Выходная мощность источников тока серии «ИСТ» - до 200 кВт. Источники тока управляются встроенными 16-разрядными

Как следствие универсального характера некоторых разработок лаборатории, часть из них становится основой для разработки приборов и/или устройств, имеющих самостоятельную научную или технологическую ценность. Некоторые разработки в той или иной степени применяются и используются в работах по другим тематикам Института, при выполнении работ по контрактам с российскими и/или зарубежными научными центрами из США, Германии, Швейцарии, Японии, Китая, Южной Кореи.

Следует отметить, что 2011-й год для сотрудников радиофизической Лаборатории был особенно напряжённым в связи с выполнением большого объема работ по контрактам с «COSY» (Германия), Брукхэйвенской национальной Лабораторией (США), KAERI (Корея), TAЕ (США) и др.

Ниже кратко приведены некоторые результаты работ, проводившихся Лабораторией в 2011 году, и ориентиры по работам, которые будут продолжены в 2012 году и в дальнейшем.

ЦАП, для прецизионного измерения выходного тока применены бесконтактные магнитомодуляционные датчики тока собственной разработки.

- Для источников тока типа «ИСТ», предназначенных для питания магнитов канала «К-500», была проведена разработка схемы реверса тока нагрузки. Поскольку канал «К500» предназначается для транспортировки как электронов, так и позитронов от инжекционного комплекса до ВЭПП-2000 и ВЭПП-4, то требуется изменение полярности тока в магнитах. В 2011 году схемами реверса тока оснащены источники тока канала «К500», а также источник питания магнитной системы «БЭП».

- В 2011 году произведена наладка и сданы в эксплуатацию четыре источника тока типа «ИСТ» новой модификации с выходным током до 400 А мощностью до 200 кВт. Тиристорные выпрямители этих источников тока изготовлены на заводе Низковольтной Аппаратуры (НВА, Рассказово, Тамбовской обл.) и укомплектованы разработанной и изготовленной в ИЯФ СО РАН электроникой управления и стабилизации тока. Источники используются в составе разработанной в ИЯФ СО РАН по контракту с «COSY», Германия, установки электронного охлаждения.

- В 2011 году закончено изготовление ряда оригинальных источников питания электромагнитов бустерного ускорителя нового источника синхротронного излучения NSLS II (BNL, США). Так как бустер способен работать

Таблица 7. 1.

Источник питания	Количество источников	Макс. ток, А	Макс.напр, В	Макс. мощность, Вт
BR-QF	1	157	207	32 496
BR-QD	1	85	49	4 200
BR-QG	1	126	73,2	9 229
BR-SXV	8	18	17,4	2 507
BR-SXH	8	18	17,4	2 507
BR-Corr	32	7	8,8	1 963
DC-septum	1	400	15	6 000

с частотой повторения до двух герц, то требования к источникам питания достаточно уникальные. При высоких требованиях к точности стабилизации тока источники тока должны обладать высокими динамическими характеристиками. В частности, время нарастания тока от минимального до номинального значения во всех источниках питания должно быть не более 0,26 сек. Общее количество разработанных и изготовленных источников тока для питания электромагнитов бустера - более 50 штук. В таблице 7.1 приведены основные параметры изготовленных источников питания бустера NSLS II.

• В 2011 году продолжалась разработка и изготовление прецизионных источников тока с выходной мощностью до 10 кВт, выполненных с использованием высокочастотного (порядка 20 кГц) преобразования электроэнергии. Так, в частности, разработаны и изготовлены новые прецизионные четырех-квадрантные источники тока типа «ВЧ-500» (500А/12В), предназначенные для поставки по контрактам в BNL, США (2 штук) и KAERI, Корея (4 штуки).

• Закончена разработка и начались полномасштабные испытания мощного (с выходным током до 800 А, максимальным напряжением до 400 В) прецизионного источника тока произвольной формы. Такие источники тока необходимы для питания дипольных магнитов синхротронов и бустерных ускорителей, работающих с частотой повторения 1-2 Герца.

• Для ряда контрактных работ изготовлено значительное количество прецизионных источников тока для питания корректоров. Так, в частности, в 2011 году изготовлено более 160 штук источников тока типа «MPS-6» (выходной ток до 6 А), более 25 штук источников тока типа «MPS-20» (выходной ток до 20 А) и до десятка двухканальных блоков типа «SR-20-30» – стабилизаторов тока по принципу «подшунтирования» обмоток магнита.

• Изготовлено и введено в эксплуатацию более 20 каналов прецизионных источников тока типа «УМ-1», «УМ-3» и «УМ-10» с выходными токами соответственно 1 А, 3 А и 10 А. Источники установлены на ускорительных комплексах: ЛСЭ, ЭЛС, ЛИУ.

7.2 Высоковольтные источники постоянного стабилизированного напряжения.

Лабораторией успешно ведутся разработки высоковольтных источников постоянного стабилизированного напряжения с широким диапазоном мощностей:

• десятки ватт – для питания электростатических устройств отклонения или фокусировки пучков заряженных частиц;

• от сотен ватт до десятков киловатт – для питания различных высоковольтных ускорителей «прямого действия».

• сотни киловатт – высоковольтное питание ионных источников и атомарных инжекторов.

• Источники высоковольтного питания обладают высокой стабильностью и точностью регулирования, они защищены от пробоев и коротких замыканий.

7.2.1 Источники высоковольтного питания атомарных инжекторов для диагностики и нагрева плазмы в плазменных установках

Разработка и изготовление мощных источников высоковольтного питания атомарных инжекторов для корпускулярной диагностики и нагрева плазмы в экспериментальных плазменных установках продолжает оставаться одним из главных направлений деятельности лаборатории. Так, в частности, в 2011 году:

• сданы в эксплуатацию два источника высоковольтного питания «нагревных» инжекторов для токамака «Compass-D» (Прага, Чешская республика). Параметры источников высоковольтного питания: 40 кВ/15 А/300 мс. Источники высоковольтного питания состоят каждый

из 12 штук последовательно включенных высокочастотных выпрямителей, питающихся от 12 штук регулируемых 10 кГц - инверторов.

- Продолжена разработка и изготовление отдельных узлов источника высоковольтного питания мощного инжектора отрицательных ионов, разрабатываемого по контракту с ТАСЕ. Параметры источника высоковольтного питания: $U(\text{вых}) = -660$ кВ, $I(\text{вых}) = 10$ А, $T(\text{имп}) = 100$ сек. Источник высоковольтного питания состоит из шести последовательно включенных высоковольтных выпрямителей с выходным напряжением -110 кВ, размещенных в одном объеме, заполненном изолирующим газом. Источниками регулируемого переменного напряжения (2 кГц, 3 кВ) этих выпрямителей являются разрабатываемые в Лаборатории инверторы напряжения частотой 2 кГц с выходной мощностью каждого до 500 кВт.

- Для стенда источника отрицательных ионов, разрабатываемого в рамках контракта с фирмой «ТАЕ», США, изготавливается источник высоковольтного напряжения -120 кВ, 100 мА. Источник высоковольтного напряжения состоит из каскадного генератора – «умножителя напряжения» - работающего на частоте 20 кГц, и регулируемого инвертора напряжения повышенной (20 кГц) частоты.

7.2.2 Источники высоковольтного питания электронных ускорительных трубок

В течение 2011 года продолжалась разработка, усовершенствование и изготовление элементов и узлов источников высоковольтного питания электронных ускорительных трубок:

- С использованием элементов каскадного генератора – двухтактного умножителя напряжения - изготавливаются источники высоковольтного питания электронной трубки для установки «ЛЭСЭ» («Лазер на Свободных Электронах») и ускорительной трубки установки «ЭЛС» («Электронно-Лучевой Сварки»), рассчитанной на работу с током пучка до 100 мА. Выходное напряжение источника высоковольтного питания «ЛЭСЭ» - до -300 кВ, а «ЭЛС» – до -60 кВ.

- Разработан и изготовлен высоковольтный выпрямитель с выходным напряжением до -60 кВ и полупроводниковый преобразователь повышенной частоты (20 кГц) для мощной установки «ЭЛС» с мощностью до 60 кВт.

- Для питания ускорительной трубки с напряжением до 2 МВ установки электронного охлаждения для ускорителя «COSY», Германия, разработан мощный (40 кВт) резонансный инвертор повышенной частоты преобразования (25 кГц).

- Для восстановления работоспособности

инжектора электронов в КАЕРИ (Корея) проведены работы по реконструкции источника высоковольтного питания -300 кВ, 15 кВт. Изготовлен новый регулируемый низкочастотный (500 Гц) резонансный инвертор напряжения, сделана профилактика высоковольтного выпрямителя -300 кВ.

Одной из сложнейших работ 2011-го года являлась работа по завершению изготовления и начало экспериментов на установке электронного охлаждения, разработанной для COSY, Германия. «Высоковольтная колонна», создающая регулируемое стабилизированное напряжение до -2 МВ, состоит из каскадно-включенных высоковольтных трансформаторов. Дополнительные обмотки трансформаторов используются для создания регулируемого тока соленоидов, находящихся на соответствующих высоковольтных потенциалах. «Высоковольтная колонна» является сложным комплексом силовой, управляющей и измерительной электроники. В качестве приёмника электронного пучка в установке электронного охлаждения используется коллектор, рассчитанный на мощность до 15 кВт. Для создания регулируемого напряжения на коллекторе (1...5 кВ) разработан и изготовлен оригинальный источник напряжения мощностью до 15 кВт, находящийся на высоковольтном потенциале -2 МВ.

7.2.3 Импульсные источники питания электромагнитов ускорительных комплексов

В 2011 году продолжилось изготовление большого количества генераторов импульсного тока. Так, в частности, для каналов транспортировки пучков «К-500» изготовлено 75 штук источников импульсного питания типа «ГИД-25». В одной радиостойке размещается 8 генераторов типа «ГИД-25», блоки автоматизированного управления и два 4-х канальных блока быстрого измерения выходного тока. Все восемь генераторов, размещенных в одной стойке, питаются от общего АС/DC источника питания напряжением 24 В.

Для импульсного питания фокусирующей системы Линейного Импульсного Ускорителя (ЛИУ) разработаны и изготовлены оригинальные импульсные генераторы «МИГ-100», способные генерировать импульсы тока амплитудой до 800 А. Шесть генераторов размещены в одной радиостойке, система импульсных генераторов оснащена блоками компьютерного управления и быстрыми измерителями выходного тока.

7.3 Разработка измерительных систем и устройств автоматизации физических экспериментов

Участие лаборатории в автоматизации установок, стендов и больших физических комплексов состоит:

- В разработке и поставке готовых систем (систем управления, контроля, диагностики, компьютерных систем) с последующим участием авторов в адаптации систем к физическим установкам;

- В разработке элементов контроля, управления, таймирования систем питания с последующей комплексной поставкой этих систем на ускорители и накопители заряженных частиц и с исследованием их влияния на комплекс в целом;

- В поставке отдельных унифицированных модулей (КАМАК, VME, Вишня, Евромеханика) в действующие или в новые установки и стенды;

- В разработке новых подходов, методик и, как следствие, новых устройств, позволяющих решать физические экспериментальные задачи на новом уровне;

- В модернизации существующих систем автоматизации, управления и диагностики на действующих физических установках.

- В ремонте и техническом обслуживании нескольких тысяч блоков электроники и целых систем, разработанных в лаборатории и находящихся в эксплуатации.

Аппаратура, разработанная и произведенная в ИЯФ СО РАН, широко используется не только в СО РАН, но и во многих научных организациях России и за рубежом. Основные результаты 2011 года:

- Введена в эксплуатацию в ВНИИТФ (г. Снежинск) система управления линейным индукционным ускорителем для импульсной рентгенографии, обеспечившая проведение первых экспериментов с реальными объектами.

- Созданы необходимые аппаратные и программные средства для проведения широкого комплекса измерений изготавливаемых в ИЯФ СО РАН магнитных элементов бустера NSLS-II: дипольных магнитов, квадрупольных и секстипольных линз, кикеров, бампов, септум-магнитов. С этой целью:

- изготовлена и запущена на стенде в ЭП-1 система Холловских измерений;

- изготовлена вторая система измерения мультипольных компонент магнитных линз, отличающаяся повышенными характеристиками по точности;

- разработана, изготовлена и отлажена электроника для измерений импульсных магнитов бустера NSLS-II;

- изготовлена и запущена аппаратура для измерения кикеров системы впуска/выпуска

NSLS-II;

- подготовлена к работе система измерений импульсных параметров дипольных магнитов бустера NSLS-II.

- изготовлен и запущен в работу стенд магнитных измерений для кулера COSY;

- Изготовлены, налажены и переданы в эксплуатацию около 150 различных блоков с интерфейсом CAN-BUS для систем управления и контроля электрофизическими установками. Подробное описание модулей размещено на сайте лаборатории.

- Следует отметить, что устройства этого семейства широко используются при выполнении контрактных работ. За последние годы более половины произведенных модулей (всего 1100 штук) в комплекте с различными источниками питания и в составе контрольно-измерительных комплексов поставлены в рамках российских и зарубежных контрактов.

- Разработаны и изготовлены в необходимом количестве прецизионные цифровые интеграторы VSDC-3, предназначенные для измерения мгновенных значений и формы импульсных магнитных полей.

- Проведена модернизация регистраторов формы сигналов ADC - 200ME. Новые модули предназначены для оснащения системы управления и контроля бустера NSLS-II.

- Настроен и введен в эксплуатацию комплект модулей электроники для питания и управления электронной пушкой охладителя ионов для COSY.

- Разработан и реализован беспроводной канал связи CAN для управления электронной пушкой охладителя ионов для COSY.

- Изготовлены и введены в строй два варианта (с ручным и управлением от компьютера) электроники для системы юстировки магнитного поля в соленоиде охладителя ионов (COSY).

- В рамках выполнения контрактной работы лаборатория принимала участие в разработке и реализации системы управления для бустера NSLS-II. Разработаны и изготовлены системы опроса термоключей, кросс-боксы для системы управления вакуумом, для устройств диагностики и защиты. Освоена работа с PLC фирмы Allen-Bradley, написан комплект программ для тестирования компонентов системы управления бустера NSLS-II.

- Продолжены работы по созданию системы управления четырехдорожечного ЛСЭ.

- Установлен на место и запущен новый модулятор электронной пушки инжектора ЛСЭ. Модулятор имеет уникальные параметры: длительность импульсов 1 нс, амплитуда 0-120

В на нагрузке 25 Ом, частота повторения 0-90 МГц.

- Продолжены испытания нового таймера (90 МГц) для модулятора пушки инжектора.
- Продолжена работа по внедрению современных интеллектуальных контроллеров в системах управления физических установок. Изготовлена очередная партия контроллеров и

шлюзов CAN-Ethernet для различных установок института.

- Завершена замена устаревшего оборудования систем управления питанием основных магнитных элементов накопителя ВЭПП-4. Для этого разработан прецизионный (0,002%) интерполирующий ЦАП с интерфейсом MIL-STD-1553B. Модуль программно и аппаратно

Таблица 7.2 Семейство устройств с CAN-BUS интерфейсом

Название	Краткая характеристика
CANDAC16	16-канальный, 16-разрядный ЦАП, 8-битовые входной и выходной регистры
CANADC40	40-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,03%), 8-битовые входной и выходной регистры
CDAC20 CEDAC20	20-разрядный ЦАП, 5-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 8-битовые входной и выходной регистры (Вишня и евромеханика)
CEAC51	20-разрядный ЦАП, 5-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 8-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U)
CAC208 CEAC208	8-канальный 16-разрядный ЦАП, 20-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 8-битовые входной и выходной регистры (Вишня и евромеханика)
CEAC124	4-канальный 16-разрядный ЦАП, 12-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 4-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U)
CEAC121	1-канальный 16-разрядный ЦАП, 12-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 4-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U), ориентирован для управления быстрыми источниками
CEAD20	20/40-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 4-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U)
CGVI8	8-канальный, 16-разрядный генератор задержанных импульсов, 8-битовые входной и выходной регистры
CPKS8	8-канальный, 16-разрядный преобразователь код-скважность
SLIO24	Интерфейс CANbus - 24-разрядная двунаправленная шина, встраиваемая плата
CKVCH	Коммутатор высокочастотных сигналов 8-1, 2*(4-1), 4*(2-1)
CANIPP	Интерфейс CANbus- 2 ветви типа ИПП
CANIVA	16-канальный измеритель вакуума (тока магниторазрядного насоса)
CURVV	Универсальный регистр ввода/вывода (2 выходных и 4 входных регистра по 8 бит)
CIR8	Регистратор дискретных сигналов (регистр прерывания, СДС, регистры ввода/вывода)
CAC168	8-канальный 16-разрядный ЦАП, 16-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,03%), входной и выходной регистры, встраиваемая плата
CAN-DDS	Модуль CAN-DDS - делитель входной тактовой частоты с дистанционно перестраиваемым дробным коэффициентом.
CAN-ADC3212	Для замыкания цепи обратной связи в схеме термоподстройки высокочастотных резонаторов.
CANGW	Шлюз Ethernet - CAN/RS485
VME-CAN	Интерфейс VME-CAN.
CEDIO_A	Многопортовый регистр ввода/вывода.
GZI-CAN	4-канальный генератор задержанных импульсов, 80 нс – 10,28 мкс
VSDC2	Модуль для прецизионного измерения магнитных полей с помощью индукционного метода, 2 канала
IVI1811	Измеритель временных интервалов с разрешением 0,5 нс

совместим с предыдущей устаревшей разработкой, что позволило оставить неизменным существующее программное обеспечение систем управления комплекса.

- Для установок электронно-лучевой сварки продолжена разработка нового источника питания с возможностью косвенного подогрева катода электронным пучком. Целью данной разработки является поиск варианта и конструкции катода со значительно увеличенным временем жизни.

- Для установки электронно-лучевой сварки в ЭП-1 разработана и запущена в эксплуатацию система поиска стыка и наведения электронного пучка. Продолжена работа над созданием модернизированного варианта системы для отработки сварочных технологий на стенде.

- Проведены испытания в реальных условиях 2-х канального прецизионного измерителя токов для ионизационных камер (разрешение прибора 2-3 фА). Устройство предназначено для экспериментов с использованием синхротронного излучения. Полученные результаты позволили приступить к разработке серийного образца измерителя.

- Начата разработка модуля генератора временных интервалов для комплектации многочисленных импульсных систем канала К-500.

- Завершена разработка системы контроля основных параметров теплового насоса, используемого в системе охлаждения ускорительных комплексов.

- Продолжено изготовление и наладка новой электроники для пикапов комплекса ВЭПП-2000.

- Продолжена разработка и изготовление новой электроники для измерения орбиты на комплексе ВЭПП-3.

- Изготовлена и налажена электроника пикапов установки электронного охлаждения, для ускорителя «COSY».

- Разработан прототип блока обработки сигналов для системы измерения бетатронных частот бустера NSLS-II. Произведены испытания на накопителе ВЭПП-3, после внесенных коррекций начато изготовление рабочей системы для NSLS-II.

- Изготовлен новый автоматизированный прецизионный стенд для измерения параметров пикапов. Произведён обмер параметров первой партии из 7 пикапов для бустера NSLS-II. Также произведён обмер параметров на специальном стенде 3-х полосковых датчиков для бустера NSLS-II.

- Разработан новый блок согласования и быстрой защиты для модулятора клистрона 5045 (Инжекционный комплекс) с целью замены морально устаревших блоков, разработанных около 15 лет назад.

- Разработан коммутатор для питания вакуумных ионно – геттерных насосов. Изготовлен прототип на номинальный ток 50 А, напряжение порядка 30 В.

- Для университета штата Монтана (США) разработаны и изготовлены 12 емкостных и 12 ультразвуковых модернизированных гидростатических датчиков. По контракту с КЕК (Япония) изготовлено 10 емкостных гидростатических датчиков. Продолжается сотрудничество по технической поддержке гидростатической системы мониторинга положения магнитных элементов на ускорителе «Tevatron» (FNL, США). Гидростатические системы, созданные в ИЯФ СО РАН, функционируют в FNAL уже более 10 лет.

- Разработан и изготовлен прототип полупроводникового ВЧ - генератора с возможностью амплитудной модуляции выходного напряжения 4 МГц для питания плазменного эмиттера ионного источника атомарного диагностического инжектора. Прототип, обеспечивающий выходную мощность до 10 кВт высокочастотного напряжения 4 МГц, испытан при работе в составе атомарного инжектора. В текущем году продолжается разработка полупроводникового ВЧ – генератора с выходной мощностью до 20 кВт

- Разработан, испытан и введен в работу источник питания накала для катода с импульсным током эмиссии до 2 кА. Мощность, потребляемая от источника тока – до 2 кВт в непрерывном режиме. Особенность источника состоит в том, что подъем тока накала в нем осуществляется в течение нескольких минут (регулируемый параметр) при непрерывном контроле функционирования.

- Изготовлены электроприводы типа «ЭШД-5» в количестве 30 штук для управления шаговыми двигателями комплекса ВЭПП-5.

- Для экспериментального производства ИЯФ СО РАН автоматизированы 2 очередные печи для участка склейки.

В 2011 году, как и во все предыдущие годы, продолжалась техническая поддержка в рабочем состоянии ранее изготовленных электронных систем и их узлов, находящихся в эксплуатации на установках Института и за его пределами.

7.4 Исследования, связанные с моделированием и решением электростатических и электродинамических задач ускорительной физики.

В 2011 году продолжалась работа по расчету и проектированию элементов ускорителей, как для потребностей Института, так и по контрактам в рамках международного сотрудничества. При этом развивались и модернизировались вычислительные методы и программы для расчета и проектирования элементов ускорительной техники, а также компьютерного моделирования динамики пучков заряженных частиц. В том числе:

- В рамках контракта по созданию мощного источника нейтральных частиц была осуществлена окончательная оптимизация магнитного поля в плазменной перезарядной мишени, сделаны оценки потоков электронов на стенки камеры, окончательный вариант магнитной системы передан в конструкторское бюро.

- В рамках контракта по созданию высоковольтной установки электронного охлаждения для COSY продолжились работы по созданию электронной пушки и коллектора. Были проведены стендовые измерения разработанной конструкции, сопоставление данных показало хорошее совпадение рассчитанных и измеренных параметров.

- Продолжены работы по дальнейшему развитию программ для расчета электростатических и магнитоэлектрических полей, электронных и ионных пушек. Для комплекса программ UltraSAM значительно улучшена работа пре- и постпроцессоров, устранены замеченные ошибки.

В соответствии с планом выполнения контракта на разработку прототипа инжектора атомарного пучка высокой энергии на основе источника отрицательных ионов проведено чис-

ленное моделирование, в том числе:

1. В рамках проектирования прототипа атомарного инжектора с одним «драйвером» проведены:

- расчет и оптимизация поля расширительной плазменной камеры с мультипольными периферийными постоянными магнитами;
- расчет и оптимизация поля магнитного фильтра плазменного электрода;
- расчет и оптимизация отклоняющего магнита ионно-оптической системы;
- расчет электрических полей в ионно-оптической системе прототипа атомарного инжектора с одним драйвером и «одноапертурным вытягиванием»;
- расчет траекторий ускоряемых отрицательных ионов и сопутствующих электронов.

2. Проведены аналогичные расчеты для прототипа высоковольтного атомарного инжектора большой мощности с четырьмя драйверами и током пучка до 1,5 А.

3. Проведены расчеты прохождения пучка из источника ионов через поворотные магниты и ускоритель для прототипа с четырьмя драйверами и пучком 1,5 А.

Продолжены работы по развитию сайта лаборатории <http://www.inp.nsk.su/activity/automation/index.ru.shtml>. Данный сайт должен способствовать более полному и корректному использованию разработок лаборатории. Для этого, помимо описаний различных модулей, появились руководства по эксплуатации (application notes). Сайт регулярно обновляется.

7.5 Подготовка физического оборудования ускоряющих станций коллайдера комплекса NICA

Продолжает работать над проектом «Физическое обоснование ускоряющих станций Коллайдера ускорительного комплекса NICA». Коллайдер предназначен для проведения экспериментов с ядрами золота на энергии от 1 ГэВ/н до 4,5 ГэВ/н. Число частиц в каждом встречном пучке на энергии 1 ГэВ/н – $6,3 \cdot 10^9$, а на энергии 4,5 ГэВ/н – $5,5 \cdot 10^{10}$. Зависимость числа частиц от энергии можно считать линейной. Ток пучка на энергии 4,5 ГэВ/н – 0,4 А. Частота обращения частиц изменяется в зависимости от энергии, на которой проводится эксперимент, от 522 кГц до 587 кГц (12,45%). Каждый встречный пучок в коллайдере движется по своему кольцу. Каждое кольцо – ускоритель с жесткой фокусировкой и

критической энергией – 7,1 ГэВ/н. Расстояние между осями вакуумных камер каждого кольца – 320 мм. Диаметр апертуры вакуумных камер в местах расположений ускоряющих станций – 100 мм.

В каждом кольце коллайдера необходимо иметь четыре типа ускоряющих станций. Первый тип – барьерная станция. Может применяться для накопления частиц на энергиях от 600 МэВ/н до 4,5 ГэВ/н, и может использоваться при ускорении частиц в диапазоне энергий от 600 МэВ/н до 4,5 ГэВ/н. Эта станция должна создавать последовательности ускоряющих и тормозящих импульсов напряжений для ионов. В зависимости от энергии частиц частота

следования импульсов лежит в пределах от 473 кГц до 587 кГц. Длительность импульсов – 1/12 периода обращения ионов в кольце коллайдера. Напряжение импульсов – 5 кВ. Сдвиг по времени между ускоряющими и тормозящими импульсами – 1/2 периода обращения частиц в кольце. Инжекция ионов в кольцо производится между ускоряющим и тормозящим импульсами. Частицы накапливаются между тормозящим и ускоряющим импульсом. При накоплении должны работать или электронное, или стохастическое охлаждение.

Барьерная станция – коаксиальная линия, наполненная кольцами из аморфного железа марки 5 ТМ. Длина линии – 0,9 м. На кольца, от источников напряжений с помощью транзисторов DRF1201, работающих в ключевом режиме, поступают напряжения. Эти напряжения на разомкнутой части коаксиальной линии образуют последовательность напряжений +5 кВ; 0В; -5 кВ; 0В соответствующей длительности. В разрыве вакуумной камеры каждого кольца располагается керамический цилиндрический изолятор. К разрыву вакуумной камеры подсоединяются разомкнутые части коаксиальной линии.

Для ускорения ионов золота в диапазоне энергий от 600 МэВ/н до 4,5 ГэВ/н совместно с барьерной системой должна работать ускоряющая импульсная станция (нулевой тип ускоряющей станции). Конструкция этой станции аналогична конструкции барьерной. Ускоряющая импульсная станция должна создавать напряжение типа «меандр» с частотой обращения ионов в ускорителе и напряжением ± 300 В. Это обеспечивает темп ускорения ионов на 120 эВ/н за оборот и ускорение ионов на 4 ГэВ/н примерно за 70 сек. Начало ускоряющего импульса напряжения «меандр» должно располагаться посередине замедляющего импульса напряжения барьерной станции.

Барьерная станция и ускоряющая импульсная станция располагаются на одной подставке. Длина подставки – 2000 мм (рис.7.5.1). На части вакуумной камеры ускорителя, которые располагаются под коаксиальными линиями барьерной и импульсной ускоряющей станции, наматывается нагревательный кабель. Между этим кабелем и внутренними цилиндрами коаксиальных линий станций должна располагаться термоизоляция. Нагревательный кабель используется для прогрева вакуумной камеры во время получения необходимого вакуума. Барьерная станция и ускоряющая импульсная станция имеют общий вакуумный насос МРН250.

На концах вакуумной камеры, которая проходит через барьерную станцию и ускоряющую импульсную станцию, располагаются два вакуумных шибера.

Вторая станция создаёт гармоническое на-

пряжение на двадцать четвёртой гармонике частоты обращения частиц в ускорителе. Максимальное ускоряющее напряжение, которое может создать одна станция, – 25 кВ. В каждом кольце коллайдера должно стоять по четыре таких станции. Четыре станции могут создать ускоряющее напряжение 100 кВ.

Рабочая частота третьих станций – семьдесят вторая гармоника частоты обращения ионов. Максимальное ускоряющее напряжение одной из этих станций – 125 кВ. В каждом кольце располагаются по восемь станций. Ускоряющее напряжение в каждом кольце на этой частоте достигает 1 МВ.

Все станции имеют механические замыкатели ускоряющих зазоров. Время срабатывания замыкателя – $0,1 \div 0,2$ сек.

Порядок работы ускоряющих систем следующий. Во время инжекции частиц в кольцо, механические замыкатели ускоряющих зазоров барьерной станции и импульсной станции разомкнуты, а зазоры остальных станций замкнуты механическими замыкателями. Напряжение есть только на барьерной станции. После того, как накоплен необходимый ток ионов, производится ускорение ионов до энергии эксперимента. Для этого, в соответствии с необходимым темпом ускорения, включают напряжение на станции импульсного ускоряющего напряжения, увеличивают частоту импульсных напряжений барьерной станции и станции импульсного ускоряющего напряжения, увеличивают поля магнитных систем ускорительного кольца. Если энергия ионов достигнет энергии эксперимента, увеличение частоты ускоряющих напряжений и увеличение магнитных полей прекращается, напряжения барьерной станции и станции импульсного ускоряющего напряжения выключаются. После того, как пучок ионов равномерно заполняет весь ускоритель, механические замыкатели закроют ускоряющие зазоры барьерной станции и станции импульсного ускоряющего напряжения. После этого электронное охлаждение или стохастическое охлаждение должны уменьшить энергетический разброс ионов до такой величины, чтобы ионы можно было перехватить в двадцать четыре сгустка. Затем механические замыкатели ускоряющих станций 24-ой и 72-ой гармоники должны разомкнуть ускоряющие зазоры. Предварительно, ВЧ резонаторы этих станций должны быть настроены так, чтобы собственные частоты ВЧ резонаторов вторых станций после размыкания были настроены на частоту, расположенную посередине между двадцать четвёртой и двадцать пятой гармониками частоты обращения ионов. А резонаторы третьих станций настроены на частоту, расположенную посередине между семьдесят второй и семьдесят третьей гармоникой. Кроме того, паразитные ре-

зонансы ускоряющих резонаторов, возникающие из-за подключения к этим резонаторам ламп ГУ-92А, должны быть предварительно настроены так, чтобы их резонансные частоты располагались посередине гармоник частот обращения. Такие настройки обеспечивают минимальные инкременты для когерентных синхронных колебаний.

После этого плавно поднимают напряже-

ния на станциях второго типа, и разбивают непрерывный пучок на двадцать четыре сгустка. Затем поднимают напряжение на станциях семьдесят второй гармоники, чтобы уменьшить длину этих сгустков до необходимой величины ($\sigma=0,6\text{м}$). В этом состоянии ВЧ системы коллайдера готовы для работы на эксперименты со встречными пучками.

Вид сверху

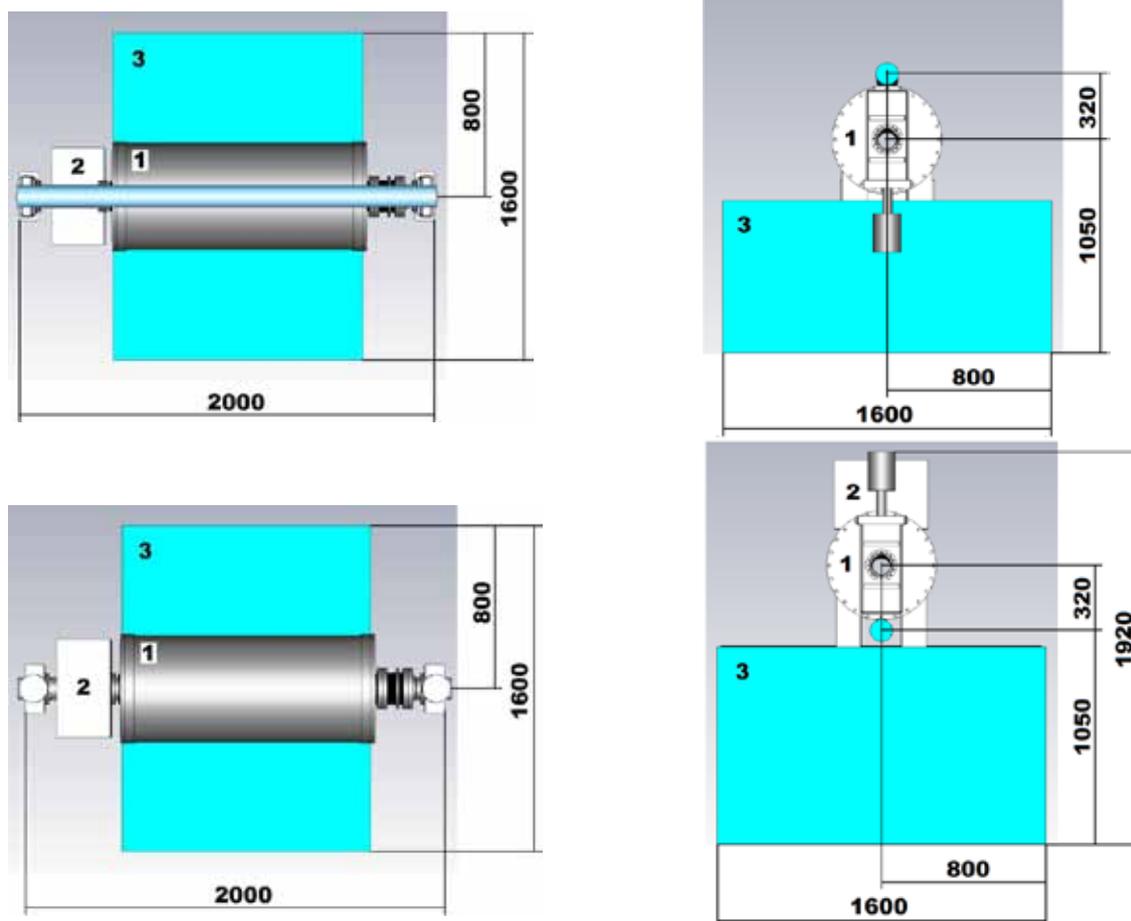


Рис. 7.5.1: Габаритные размеры резонаторов ВЧ систем №1 и №2 для нижнего и верхнего колец коллайдера NICA: 1 – резонаторы, 2 – вакуумные насосы; 3 – подставки

7.5.1 Резонаторы ВЧ системы №2 (24 Гармоника), NICA

Высокочастотные системы №2 для верхнего и нижнего колец коллайдера NICA полностью идентичны. Основные параметры одной ВЧ системы приведены в таблице 7.5.1.

Каждая ВЧ система будет состоять из 4-х резонаторов. Резонаторы будут сгруппированы парами. Каждая пара резонаторов будет располагаться на общей подставке. Габариты сборки из двух резонаторов для нижнего и верхнего колец приведены на рисунках 7.5.2 и 7.5.3.

Таблица 7.5.1 Параметры ВЧ системы №2.

Параметр ВЧ системы	Значение параметра
Частота обращения	522 ÷ 587 кГц
Кратность рабочей частоты	24
Рабочая частота	12,528 ÷ 14,088 МГц
Полное напряжение	100 кВ
Ток пучка	0,4 А
ВЧ мощность в пучок	40 кВт
Количество резонаторов	4
Напряжение на одном резонаторе	25 кВ

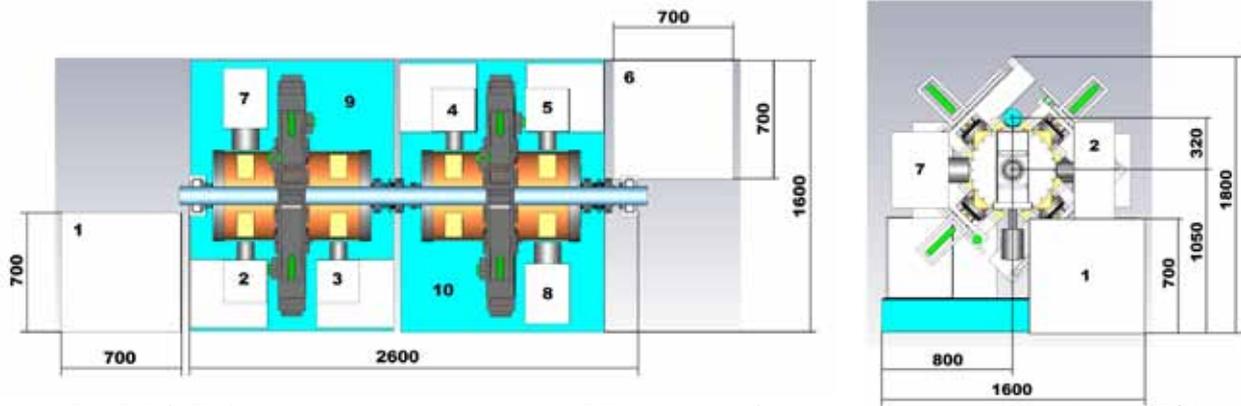


Рис.7.5. 2: Габаритные размеры резонаторов ВЧ системы №2 для нижнего кольца коллайдера NICA: 1, 6 – стойки системы воздушного охлаждения генераторов; 2, 3, 4, 5 – ВЧ генераторы; 7, 8 – вакуумные насосы; 9, 10 – подставки.

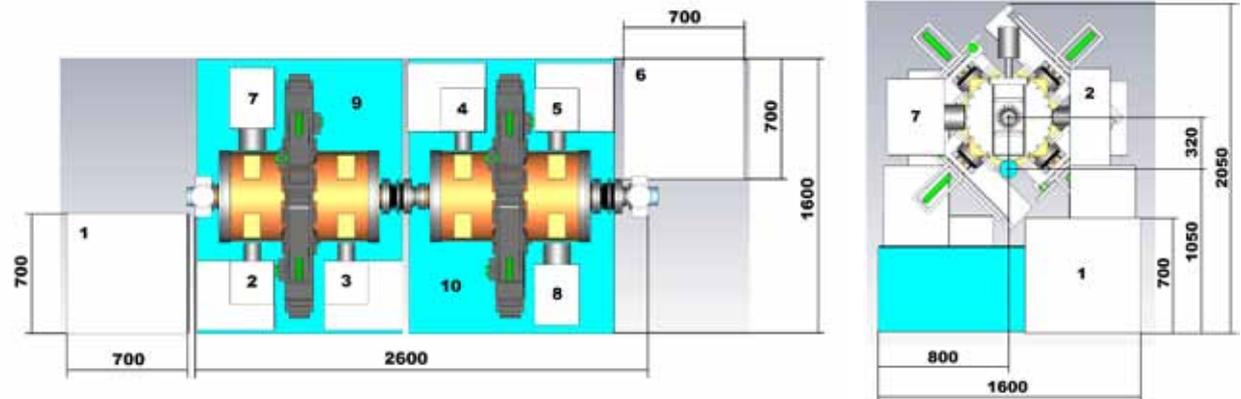


Рис.7.5.3: Габаритные размеры резонаторов ВЧ системы №2 для верхнего кольца коллайдера NICA: 1, 6 – стойки системы воздушного охлаждения генераторов; 2, 3, 4, 5 – ВЧ генераторы; 7, 8 – вакуумные насосы; 9, 10 – подставки.

Параметры основной моды резонатора приведены в таблице 7.5.2.

Таблица 7.5.2 Параметры резонатора ВЧ системы №2.

Параметр резонатора	Значение
Рабочая частота	12,528 ÷ 14,088 МГц
Перестройка рабочей частоты	~1,9 МГц
Характеристическое сопротивление	15,4 ÷ 17,3 Ом
Собственная добротность ($Q_{SLANS} \cdot 0.8$)	3570 ÷ 3750
Шунтовое сопротивление	54,8 ÷ 65,0 кОм
Ускоряющее напряжение	25 кВ
Ток пучка	0,4 А
Мощность ВЧ потерь в резонаторе	5,7 ÷ 4,8 кВт

Расчет параметров первых монопольных высших мод резонатора показывает, что минимальная ширина ускоряющего зазора и его симметричное расположение позволяют существенно уменьшить их влияние на пучок.

Моделирование мультипакторного разря-

да в резонаторе ВЧ системы №2 проводилось программой MPS. В результате моделирования определены области, в которых возможно возникновение разряда при напряжениях на резонаторе равных 2-4 кВ и 5-8 кВ. Для уменьшения вероятности возникновения мультипакторного разряда центральные трубы коаксиальных электродов будут покрыты TiN.

7.5.2 Резонатор ВЧ системы №3 (72 Гармоника), NICA

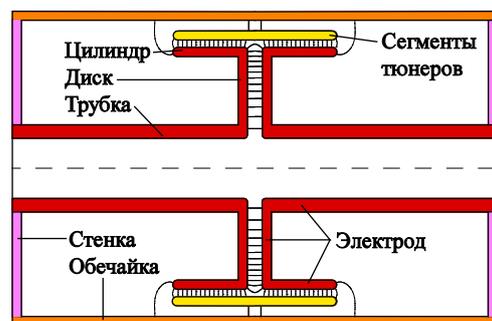


Рис.7.5.4 Схематический чертеж резонатора ВЧ системы № 3

Таблица 7.5.3 Параметры резонатора ВЧ системы №3.

Параметр резонатора	Значение ($\beta=0,877\div 0,985$)
Рабочая частота	37,584÷42,264 МГц
Перестройка рабочей частоты	~4,7 МГц (~12%)
Характеристическое сопротивление	36,853 ÷ 42,51624 Ом
Собственная добротность ($Q_{SLANS} \cdot 0.8$)	5494 ÷ 5816
Шунтовое сопротивление	252 ÷ 304 кОм
Максимальное ускоряющее напряжение	125 кВ
Максимальный ток пучка	0,4 А
Максимальная мощность ВЧ потерь ($P_{SLANS} / 0.8$)	38,6 ÷ 32,1 кВт
Габариты: диаметр/длина с учетом стенок 15 мм	520/750 мм

Диапазон частот обращения 522÷587 кГц соответствует энергиям ионов 600÷4500 МэВ или скоростям $\beta=0,877\div 0,985$. Резонатор настраивается на частоту 72 гармоники частоты обращения: 37,584÷42,264 МГц. Настройка про-

изводится изменением емкости ускоряющего зазора. Четыре емкостных сегмента, симметрично расположенные по азимуту вокруг емкости ускоряющего зазора, синхронно перемещаются в радиальном направлении. Перемещение механической перестройки - 8,4 мм. Характеристики резонатора в таблице 3 указаны для двух крайних значений β . Приведены эффективные импедансы (с учетом коэффициента пролета).

Сгустки в коллайдере имеют длину $\sigma(\text{rms})=0,6$ м. Огибающая спектра гармоник тока сгустка представлена на рисунке 6. Значение огибающей гармоник тока пучка на частотах высших мод резонатора, указанных в таблице 7.5.4, меньше 10^{-7} А. Следовательно, влиянием их на возбуждение когерентных синхротронных мод колебаний можно пренебречь.

В табл.7.5.5 приведены характеристики несимметричных мод. Из-за зеркальной симметрии резонатора эти моды имеют ничтожные импедансы. Влияние нарушения симметрии моделировалось смещением емкостных сегментов параллельно оси. В столбцах 4 и 8 таблицы 7.5.5 приведены эффективные характеристические импедансы ($\rho_{\text{несим}}$) для смещения 1 мм.

Таблица 7.5.4 Характеристики монополярных мод резонатора.

№	$\beta=0,877$				$\beta=0,985$			
	F, МГц	ρ , Ом	R, кОм	Q	F, МГц	ρ , Ом	R, кОм	Q
1	37,58339	36,853	252,1	6868	42,51624	41,86	304	7270
2	439,1537	0,239	1,5	6082	448,8326	0,157	2,0	12580
3	452,8919	0,077	1,1	13881	461,5183	1,419	5,4	3800
4	533,7109	10,112	60	5938	508,6281	6,31	36	5697
5	852,0069	2,369	39	16412	845,7928	3,98	65,6	16490

Таблица 7.5.5. Характеристики монополярных несимметричных мод резонатора.

№	$\beta=0,877$				$\beta=0,985$			
	F, МГц	ρ , Ом	$\rho_{\text{несим}}$, Ом	Q	F, МГц	ρ , Ом	$\rho_{\text{несим}}$, Ом	Q
1	47,10234	$1,4 \cdot 10^{-16}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	7876	59,0437	$7 \cdot 10^{-17}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	8860
2	440,8700	$2,6 \cdot 10^{-19}$	0,066	6402	449,4788	$1 \cdot 10^{-14}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	16404
3	453,4763	$4 \cdot 10^{-20}$	0,021	12344	469,7503	$2 \cdot 10^{-13}$	0,124	3023
4	825,7762	$6 \cdot 10^{-16}$	$4 \cdot 10^{-7}$	11441	790,6847	$7 \cdot 10^{-12}$	$8 \cdot 10^{-8}$	12339
5	901,5797	$5 \cdot 10^{-19}$	$6 \cdot 10^{-4}$	26879	900,2089	$3 \cdot 10^{-19}$	$5 \cdot 10^{-4}$	29087

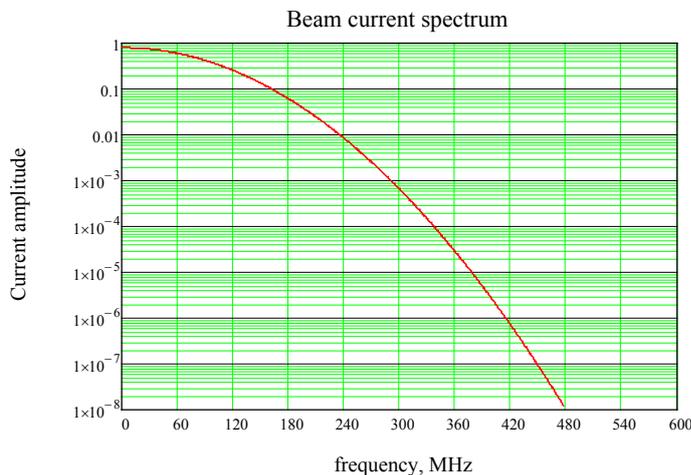


Рис. 7.5.5 Огибающая спектра гармоник тока пучка.

7.5.3 Система водяного охлаждения

В стенках отдельных частей резонатора проложены каналы водяного охлаждения. Максимальные мощности ВЧ потерь на поверхности этих частей (см. рис.7.5.5) приведены в таблице 7.5.6.

Таблица 7.5.6. Максимальная мощность ВЧ потерь ($P_{SLANS}/0,8$)

Название частей резонатора согласно Рис.7.5.1	Максимальная мощность ВЧ потерь, кВт
Обечайка	5,2
Стенка	$2,3 \times 2 = 4,6$
Электрод = Трубка+Диск+Цилиндр	$12,5 \times 2 = 25$
Сегменты тунеров	$0,91 \times 4 = 3,7$
Весь резонатор	38,6

7.5.4 Мультипакторный разряд

Моделирование программой SLANS.

В ускоряющем зазоре мультипакторный разряд не возникает.

В объеме резонатора разряд горит при следующих условиях:

Таблица 7.5.7.

Ускоряющее напряжение МВ	Коэфф. вторичной эмиссии
0,08	1,3
0,10	1,5
0,12	1,8
0,14	2,5
0,16	3,0
0,18	3,5

7.6 Высокочастотный инжектор микротрона-рекуператора

Высокочастотный (ВЧ) инжектор микротрона-рекуператора состоит из ускоряющего резонатора на частоту 90 МГц со встроенным управляемым термокатодом. ВЧ инжектор предназначен для того, чтобы заменить действующий на микротроне статический инжектор и получить при инъекции в микротрон рекордный средний ток пучка 100 мА.

В 2011 году были закончены все работы, связанные с изготовлением ВЧ инжектора на экспериментальном производстве ИЯФ СО РАН. Резонатор ВЧ инжектора был прогрет в вакуумной печи для получения высокого вакуума. Затем ВЧ инжектор был установлен на площадке 11-го здания, где сейчас создается стенд для его испытаний.

Данные испытания включают в себя тренировку резонатора на высокой ВЧ мощности для получения высокого ускоряющего градиента в резонаторе. Затем, после установки термокатод-

7.5.5 Подавление мультипакторного разряда

Перечисленные ниже пункты 1, 2, 3 моделировались с помощью программы ASRTRA. Пункт 4 – SLANS. Пункт 5, 6 не моделировался. Эффективность подавления мультипакторного разряда способами, соответствующими пунктам 5 и 6, подтверждена экспериментально на резонаторах ВЭПП.

1. ТЕ мода 1117 МГц подавляет мультипакторный разряд, но для этого необходимо $4,2 \cdot 10^8$ Вт (mp2.1.in)

2. Симметричная мода 47,2 МГц почти никак не влияет (mp2.2.in).

3. Симметричная высшая мода 453 МГц тоже слабо влияет на мультипактор (mp2.3.in).

4. Рифление на центральном электроде слабо повышает уровень коэффициента вторичной эмиссии. Практически не давит.

5. Кольцо под высоким потенциалом вокруг центрального стержня диаметром 234 мм и трубкой 10 мм. Расстояние от середины вдоль оси - 177 мм. Мощность ВЧ потерь - 400 Вт. Необходимо воздушное или водяное охлаждение кольца.

6. Покрытие внутренних поверхностей резонатора (электрод и стенки) нитридом титана в специальной камере.

7.5.6 Конструкция резонатора

На рисунке 7.5.7 показаны технические решения в конструкциях отдельных узлов резонатора.

ного узла в резонатор, будут проводиться испытания с пучком.

На данный момент, практически, закончено создание испытательного стенда. Испытательный стенд включает в себя, кроме резонатора, ВЧ генератор 100 кВт на лампе ГУ-101А. ВЧ генератор собран и испытан на эквивалент ВЧ нагрузки. Изготовлен фидер длиной 100 метров, связывающий генератор с резонатором. Подключены и испытаны системы водяного охлаждения и вакуума. Созданы и протестированы в различных режимах работы стойки управления термокатодным узлом. Создана и установлена система диагностики пучка на стенде. Сейчас производится подключение и наладка стойки управления ВЧ генератором.

Работы на стенде планируется провести в 2012 году.

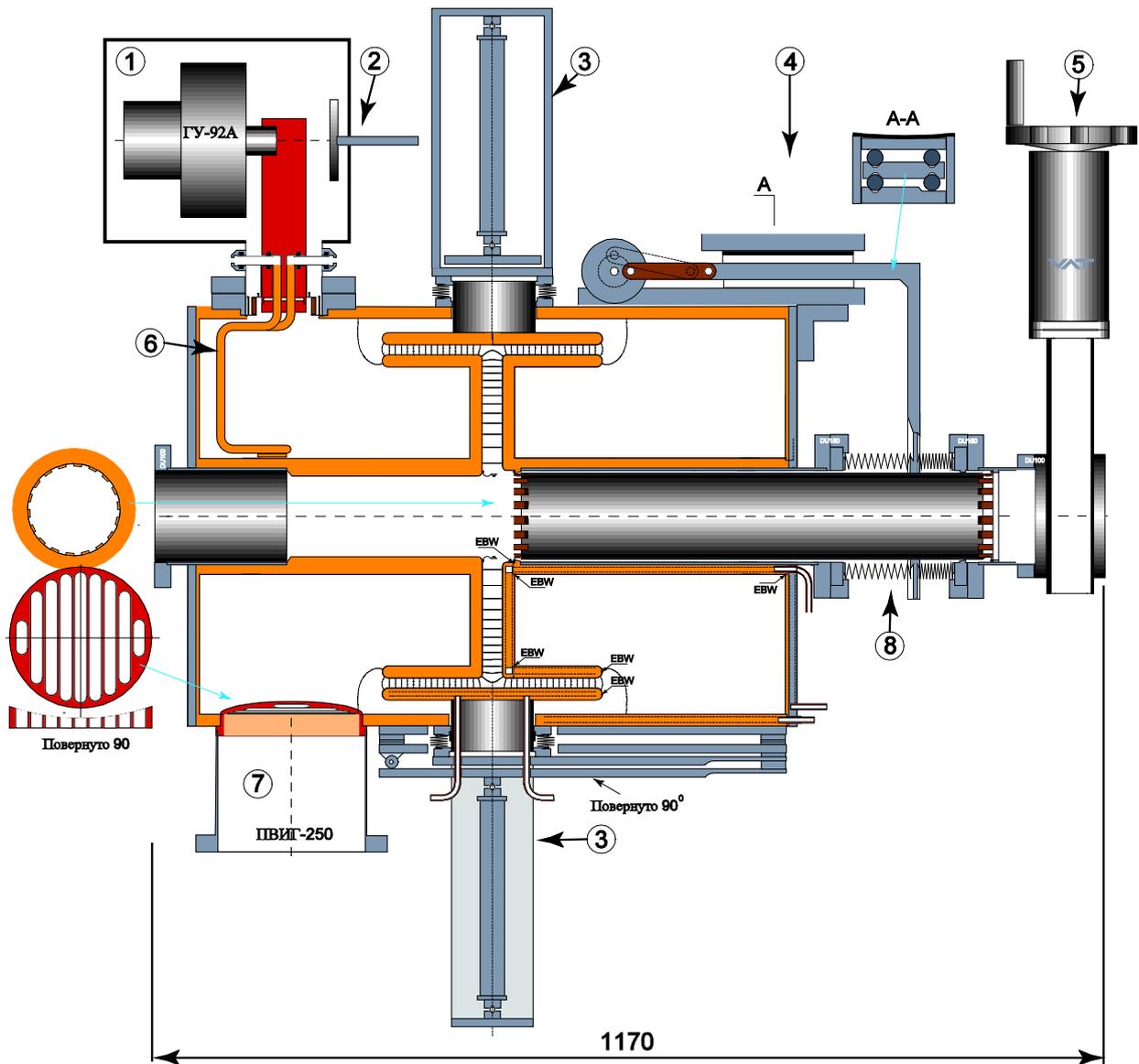


Рис.7.5.7. Конструкция резонатора станции №3. 1 – ВЧ генератор на лампе ГУ-92А; 2- отстройка частоты паразитного резонанса; 3-безлофтовый механизм перестройки основной рабочей частоты; 4- механизм электрического закорачивания ускоряющего зазора; 5- вакуумный шибер; 6 – водоохлаждаемая петля ввода ВЧ мощности; 7- патрубок магниторазрядного насоса; 8 – сильфонный узел механизма закоротки ускоряющего зазора.

7.7 Разработка высокочастотной системы для мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода

В институте ведутся работы по проекту мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода с энергией атомов 500-1000 кэВ на основе отрицательных ионов. Проект основан на раздельном формировании и ускорении пучка отрицательных ионов. В качестве источника плазмы используется четыре ВЧ-разрядных эмиттера. Для питания эмиттеров спроектирована ВЧ-система.

Основные параметры системы:

Рабочая частота	$4 \pm 3,5\%$ МГц
Мощность в нагрузке	4 x 40 = 160 кВт
Режим работы	Непрерывный
Постоянное напряжение на «антенне» относительно платформы	120 кВ
Постоянное напряжение на платформе относительно «земли»	880 кВ.
Мощность, потребляемая анодным источником от сети 220/380 В	400 кВА
Мощность, потребляемая стойкой управления от сети 220/380 В	15 кВА
Расход деионизованной воды для охлаждения тетрода 4CW50.000E	4 x 40 = 160 л/мин

Система представляет собой четыре независимых генератора. Выходные каскады генераторов выполнены на тетрадах 4CW 50.000E (EIMAC США), каскады предварительного усиления - на транзисторах IXZ2210N50L. Выходной и предварительный каскады монтируются в шкафу 800x800x2100 мм стандарта «Евромеханика».

Управление генераторами осуществляется от одной стойки управления, стандарта «Евромеханика» размером 600x800x2100 мм. В стойке размещены: система управления генераторами; четыре модулятора; источник питания управляющих сеток тетродов; блок распределения переменного напряжения; кросс бокс; промышленный компьютер.

Система управления генераторами обеспечивает управление процессом включения и отключения генератора, защиту тетродов и источников питания от аварийных режимов, обработку аналоговых сигналов, преобразование уровней аналоговых сигналов для передачи их в АЦП, а также защиту персонала от поражения электрическим током.

Модуляторы обеспечивают автоподстройку частоты задающего генератора и стабилизацию амплитуды ВЧ-напряжения на «антенне»

каждого канала. Частота задающего генератора перестраивается во время ВЧ-импульса таким образом, чтобы ВЧ-напряжения на управляющей сетке и аноде тетрода были всегда в противофазе. В результате этого сохраняется настройка анодного контура в резонанс. Система стабилизации амплитуды поддерживает заданную форму ВЧ-импульса при изменении сопротивления потерь в плазме, а также компенсирует влияние пульсаций источников питания.

Источник питания управляющих сеток обеспечивает подачу напряжения смещения на тетроды.

Блок распределения переменного напряжения обеспечивает подачу сетевого питания 220/380 В соответствующему потребителю по команде от блока управления.

«Кросс бокс» и промышленный компьютер осуществляют таймирование и сбор данных о параметрах системы.

Питание анодов и экранных сеток генераторов осуществляется от общего источника высоковольтного питания. Источник смонтирован в шкафах стандарта «Евромеханика», скрепленных в линию. Габаритный размер источника 2700x800x2100 мм.

Выходной трансформатор развязки обеспечивает передачу ВЧ-мощности на антенну, находящуюся под потенциалом 120 кВ. Магнитопровод трансформатора набран из 56 ферритовых колец размером 110x180x20 мм. Материал феррита- 200 ВНП. Ферриты производятся ООО «Нева-Феррит» (г. Санкт Петербург). Трансформатор помещен в бак диаметром 700 мм и высотой 870 мм, заполненный газом SF6. Вторичная обмотка трансформатора имеет среднюю точку, что позволяет выполнить симметричное подключение антенны, тем самым снизить паразитное излучение ВЧ- мощности в окружающее пространство. ВЧ- мощность от трансформатора передаётся по симметричному экранированному фидеру.

ВЧ система экспериментального стенда для ускорения пучка отрицательных ионов водорода с током 1,5 А до энергии 120 кэВ представляет собой один канал генератора с полномасштабным источником высоковольтного питания. В настоящее время в экспериментальном производстве ИЯФ СО РАН изготавливаются элементы этой системы.

7.8 Новая ВЧ система 174 МГц для накопителя БЭП

В лаборатории ведется работа по созданию новой ВЧ системы накопителя БЭП, являющегося инжектором ускорительного комплекса ВЭПП-2000. Новая ВЧ система позволит увеличить энергию частиц в БЭП от 0,9 до 1 ГэВ. ВЧ система работает на частоте 174 МГц (13-я гармоника частоты обращения БЭП) и состоит из ускоряющего резонатора, ВЧ генератора мощности и системы управления. Ускоряющий резонатор коаксиального типа на максимальное напряжение 120 кВ имеет механизмы подстройки основной и высших мод. В выходном каскаде ВЧ генератора с максимальной мощностью 20 кВт используется тетрод ГУ-92А. Предварительные каскады генератора выполнены на транзисторах. Система управления регулирует амплитуду и фазу ускоряющего напряжения и обеспечивает синхронизацию при заполнении сепаратрис накопителя.

В 2011 году была закончена конструкторская и технологическая проработка корпуса и центральных коаксиальных вставок резонатора. Заказы на их изготовление сданы в производство.

Был изготовлен ввод мощности резонатора и проведены его ВЧ измерения.

Начато конструирование фидерной линии, соединяющей генератор с резонатором. Изготовлен и собран выходной каскад генератора, системы питания и охлаждения каскада комплектуются покупными изделиями. Изготавливаются и настраиваются новые блоки системы управления (частично в системе управления будет использована электроника старой ВЧ системы).

7.9 Пассивный одномодовый резонатор на 816 МГц

В мае 2011 года ИЯФ заключил контракт с Национальным центром синхротронного излучения Китая в г. Хефей HLS (Hefei Light Source) на разработку и изготовление пассивного одномодового резонатора на 816 МГц. Данный резонатор планируется использовать в накопителе для увеличения длины сгустков. Это позволит снизить «эффект Тушека» и увеличить время жизни пучка. Резонатор работает на четвертой гармонике ускоряющего ВЧ. Возбуждаться резонатор будет непосредственно пучком. Необходимый уровень напряжения на резона-

торе регулируется отстройкой резонатора относительно гармоники ВЧ. На данный момент проведено трехмерное моделирование этого резонатора. Выбрана оптимальная форма для удовлетворения требований к основной и высшим модам, заявленным в контракте. Проведен расчёт основных параметров рабочей моды и импедансов высших мод резонатора до частоты 5 Гц. Проведено конструирование и выбор оптимальных технологий изготовления. Подготовлены чертежи к сдаче в производство.

7.10 Сборка и испытание ВЧ генератора для ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров.

В соответствии с договором с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (Саров) в июле 2011 года заказчику был отправлен изготовленный в ИЯФ СО РАН. ВЧ генератор непрерывной мощности 180 кВт на частоте 100 МГц. Комплект оборудования включает ВЧ усилитель мощности, эквивалент нагрузки 100 кВт, источники питания усилителя и систему управления. Перед отправкой ВЧ генератор был испытан на стенде в ИЯФ СО РАН при номинальной мощности 180 кВт.

В декабре 2011 года команда лаборатории 6-2 в составе 6 специалистов выезжала в г.Саров для окончания работы по договору. В течение 3 рабочих недель оборудование специалистами ИЯФ СО РАН было распаковано и далее была проведена его сборка и испытание на эквивалент нагрузки. Оборудование было доставлено в г. Саров по договору, ВЧ генератор был испытан при максимальной для эквивалента нагрузки мощности 100 кВт. Испытания закончились успешно, замечаний у заказчика нет.

7.11 Доработка ВЧ системы накопителя ВЭПП-4

Для подъема энергии накопителя ВЭПП-4 до энергии 4,2 ГэВ и выше были проведены работы по повышению надежности ВЧ системы накопителя. В 2011 году в ЭП-1 закончена доработка ускоряющего резонатора 181,8 МГц, который ранее не стоял в накопителе. Была проведена настройка всех узлов резонатора и измерены его основные параметры. Из технического промежутка накопителя ВЭПП-4 был снят один резонатор, находившийся в аварийном состоянии, и на его место установлен новый резонатор (Рис 7.11.1).

С обеих сторон резонатора находятся вакуумные шибера. При закрытых шиберах проведен прогрев резонатора при температуре и получен вакуум 2х. Резонатор через коаксиальный фидер подключили к распределительному волноводу.

Параллельно проведена ревизия и настройка ВЧ генератора и шкафов выпрямителей смещения 5 кВ и 50 кВ. ВЧ генератор включался на все пять резонаторов, установленных в техническом промежутке. Суммарное напряжение

поднималось до 2,5 МВ. Мощность генератора была 65 кВт. В настоящее время на новом резонаторе ведется ВЧ тренировка мультитактора. Снятый с накопителя старый резонатор отправлен на доработку в ЭП-1.

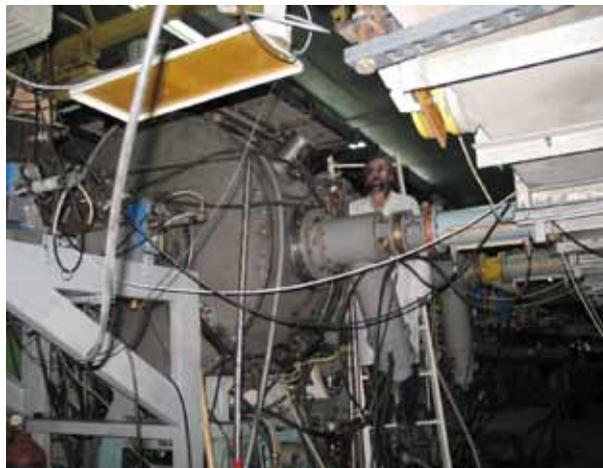


Рис.7.11.1 Новый резонатор 181,8 МГц в промежутке накопителя ВЭПП-4.

7.12 Работы по модернизации ВЧ системы микротрона для ЛСЭ.

Продолжены работы по модернизации ВЧ генераторов микротрона для ЛСЭ. Проводилась постепенная замена ламп ГУ101А на ТН781 компании TALES. Обнаружилось, что при работе выходного каскада в составе двух ламп ГУ101А и двух ламп ТН781, каскад самовозбуждается на частоте около 800 МГц. При

этом происходит разрушение ламп ТН781. По результатам испытаний проведен ряд изменений в конструкции каскада и в цепях питания, предотвращающих как самовозбуждение, так и разрушение ламп. По мере поступления ламп ТН781 работа будет продолжена.

8

**Мощные
электронные
ускорители**

8.1 Развитие модельного ряда и повышение эксплуатационных характеристик ускорителей ЭЛВ

В 2011 году институт осуществлял поставку ускорителей и производил шеф-монтаж ранее поставленных машин. В 2011 году отправлено рекордное число ускорителей: 17. В данном отчете представлена информация о новых моделях ускорителей ЭЛВ мощностью до 100 кВт в диапазоне энергий от 0,8 до 1,5 МэВ, показаны основные направления развития современных промышленных ускорителей, в том числе повышение эффективности использования за счет адаптации к существующим технологическим процессам и более тесной интеграции с существующим вспомогательным оборудованием. Продолжались эксперименты на стенде, оборудованном ускорителем ЭЛВ-6 с выводом в атмосферу сфокусированного электронного пучка. Основная часть экспериментов была связана с получением нанопорошков.

Радиационно-химические технологии с применением ускорителей электронов в качестве источников ионизирующего излучения получили широкое развитие, начиная с середины шестидесятых годов, и к настоящему времени прочно закрепились в структуре мирового промышленного производства, подтвердив свою эффективность, а в ряде случаев и уникальность. Современная промышленность широко использует технологические процессы с использованием пучков электронов для радиационной модификации полимеров, стимулирования или иницирования химических реакций, очистки дыма, очистки сточных вод, дезинфекции зерна и так далее. Заметное количество ускорителей установлено и эксплуатируется в различных научно-

исследовательских центрах и отраслевых лабораториях, что приводит к росту объемов производства радиационно-модифицированных изделий, а также появлению новых технологий и материалов, использующих электронные пучки для получения новых, а часто и уникальных свойств.

Институт ядерной физики СО РАН является одним из мировых лидеров в области разработки, проектирования, производства и внедрения в промышленность ускорителей электронов различного типа (ускорители непрерывного действия на основе высоковольтного выпрямителя, высокочастотные, импульсные), перекрывающих широкий диапазон как по энергии ускоренных электронов, так и по мощности. В этом спектре оборудования, производимого институтом, отдельное место занимает производство ускорителей ЭЛВ, компактные размеры и высокие эксплуатационные качества которых позволили ИЯФ СО РАН занять ведущие позиции на рынке промышленных ускорителей как в России, так и за рубежом.

Выпускаемые в настоящее время ускорители электронов серии ЭЛВ непрерывного действия на основе высоковольтного выпрямителя перекрывают диапазон по максимальной мощности отдельной машины от 20 до 100 кВт и по энергии ускоренных электронов от 0,3 до 2,5 МэВ (характеристики указаны в Табл.8.1, а характерные размеры – на Рис.8.1.1), для экологических и исследовательских целей – до 400 кВт при максимальном токе пучка до 0,5А.

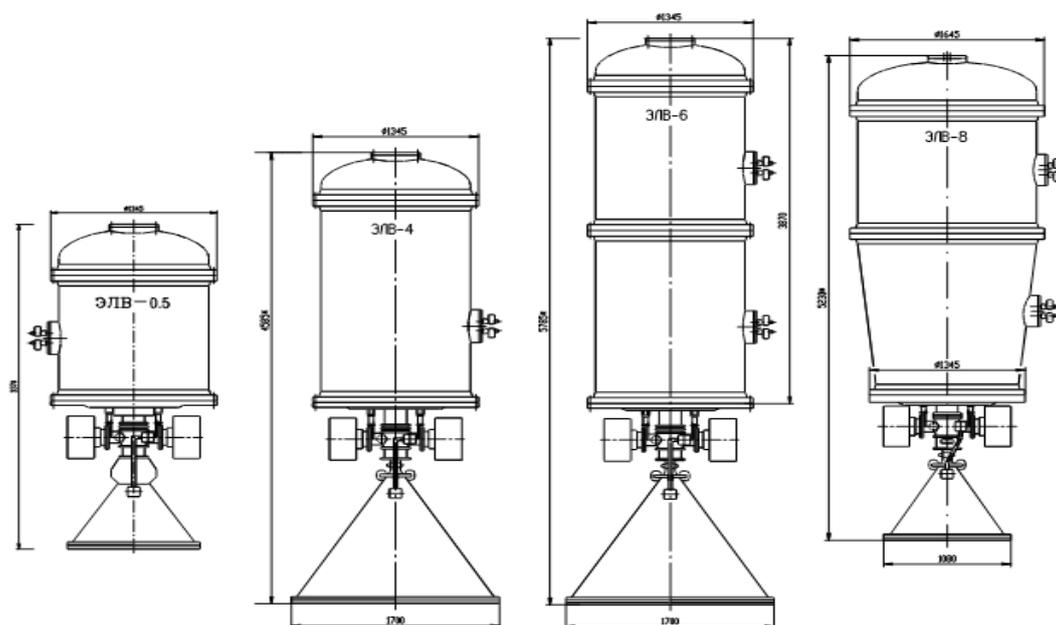


Рис.8.1. Характерные размеры ускорителей ЭЛВ.

Таблица 8.1

	Диапазон энергий, МэВ	Мощность пучка, кВт	Макс. ток пучка, мА
ЭЛВ мини	0,2...0,4	20	50
ЭЛВ-0,5	0,4...0,7	25	40
ЭЛВ-1	0,4...0,8	25	40
ЭЛВ-2	0,8...1,5	20	25
ЭЛВ-3	0,5...0,7	50	100
ЭЛВ-4	1,0...1,5	50	40
ЭЛВ-6	0,8...1,2	100	100
ЭЛВ-6М	0,75...1,0	160	200
ЭЛВ-8	1,0...2,5	100	50
ФАКЕЛ	0,5...0,8	500	800
ЭЛВ-12	0,8...1,0	400	400

Жесткие рыночные условия и возрастающий спрос на модифицированные материалы формируют у промышленных производителей потребность в более мощных и эффективных электронных ускорителях, позволяющих увеличить объемы выпускаемой продукции, часто без сложных и дорогостоящих затрат на замену всего оборудования. В таблице 8.2 приведены параметры последних 38 ускорителей.

Таблица 8.2

Максим. энергия электронов, МэВ	Максим. мощность пучка, кВт	Кол-во ускорителей
1	100	11
1	70	1
1,5	100	14
2,5	100	10
2,5	50	1
0,7	20	1 (мобильный)

Как видно из таблицы, по максимальной энергии востребованные ускорители распределены достаточно равномерно, начиная с энергии 1 МэВ. Подавляющее большинство имеет мощность 100 кВт. Поэтому в настоящее время развитие модельного ряда ЭЛВ идет по пути увеличения мощности ускорителей в диапазоне 1,0...1,5 МэВ, где требуемой мощностью обладал только ускоритель ЭЛВ-6 при максимальной энергии 1,2 МэВ. Одновременно изменения коснулись и весогабаритных характеристик. Сконструированные в новом типоразмере, эти ускорители гибко расширяют диапазон мощностей и энергий более габаритных предыдущих моделей ЭЛВ-6, позволяя:

– производить более мощные пучки электронов, наиболее точно удовлетворяющие существующим потребностям производства, учитывая имеющиеся и появляющиеся новые промышленные технологии;

– производить модернизацию (или замену) имеющегося ускорительного оборудования, без изменения существующего технологического сопровождения, как то, перемоточные линии, подающее и приемное оборудование и т.д.

Для решения этих задач была изменена конструкция каскадного генератора: первичной обмотки с параллельной индуктивной связью с целью улучшения теплоотвода; изменена схема подключения внутри колонны высоковольтных выпрямительных секций. Предыдущие модели использовали последовательную схему соединения (Рис.8.1.2,а), а сами выпрямительные секции собирались по схеме с удвоением напряжения.

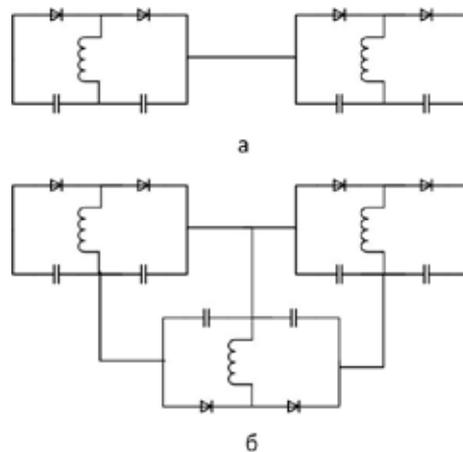


Рис. 8.1.2. Схемы выпрямительных секций

Использование последовательно параллельного включения (Рис.8.1.2,б), при которой каждый конденсатор в секции заряжается через соответствующий диод своей или соседней секции, позволяет получить более сильноточную колонну.

При последовательном соединении форма пульсаций напряжения на конденсаторах соответствует однополупериодному режиму выпрямления, а при последовательно-параллельном соединении – двуполупериодному. Последовательно-параллельная схема аналогична мостовой схеме выпрямления, но обеспечивает защиту элементов высоковольтного выпрямителя (катушки, диоды и конденсаторы) от перенапряжений при пробоях газовой или вакуумной изоляции в той же степени, что и схема удвоения. Параметры новых машин (Рис. 8.1.3) приведены на Табл.8.3:

Таблица 8.3

Модель ускорителя	ЭЛВ 4-1	ЭЛВ 4-1.2	ЭЛВ 4-1.5
Максимальная энергия, МэВ	1	1,2	1,5
Максимальный ток пучка, мА	100	83	70
Мощность пучка, кВт	100	100	100

Одновременно с изготовлением вышеуказанных ускорителей были разработаны передвижные ускорительные установки. На Рис.8.1.4 показан созданный совместно с нашими партнерами – южнокорейской компанией «EVTech» - ускоритель мощностью 20 кВт с максимальным током пучка до 30 мА, расположенный вместе с радиационной защитой внутри трейлера. Основной задачей таких ускорителей является устранение небольших локальных загрязнений.

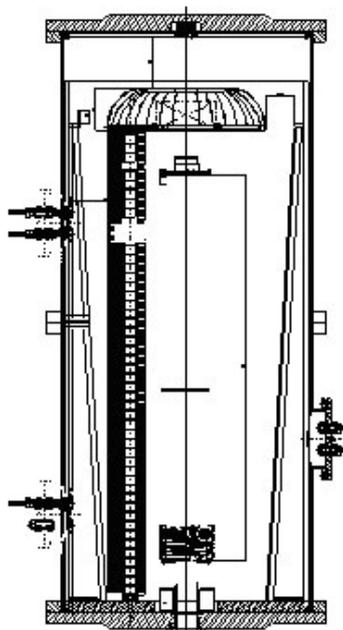


Рис.8.1.3. Структура и размеры ускорителей ЭЛВ4-1,2.



Рис.8.1.4. Мобильный ускоритель ЭЛВ.

Другим важным направлением в совершенствовании ускорительной техники является адаптация ускорительных комплексов под требования существующего технологического оборудования и их интеграция с промышленными технологиями. Так, для увеличения производительности продукции и в соответствии с пожеланиями заказчиков была модифицирована система сканирования и выпуска пучка. Длина выпускного окна увеличена с 1600 мм до 2000 мм (см. Рис.8.1.5), что позволило одновременно производить облучение двух и более различных видов продукции.



Рис.8.1.5. Модификация выпускного устройства.

Другими примерами интеграции, позволяющей повысить эффективность производства, служат установленный на ОАО «Подольсккабель» информационно-измерительный комплекс по визуализации текущих параметров ускорителя и технологического процесса облучения (Рис.8.1.6) и разработанная в институте универсальная подпучковая транспортная система.

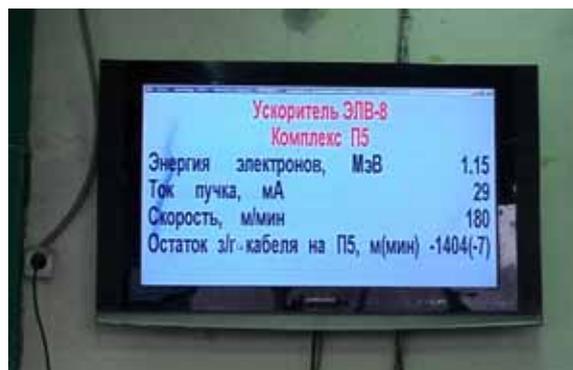


Рис.8.1.6 Отображение параметров работы ЭЛВ.

Ее конструкция показана на Рис.8.1.7. Она состоит из 2 барабанов, один из которых является ведомым, а другой, ведущий, управляется системой управления ускорителя. Это снижает риск растяжения облученных продуктов и предотвращает снижение диаметра изоляции кабеля.



Рис.8.1.7 Подпучковая транспортная система.

На сегодняшний день ИЯФ СО РАН занимает ведущие позиции среди фирм производителей облучающего оборудования для промышленных целей. Заметное количество ускорителей установлено и эксплуатируется в различных научно-исследовательских центрах, отраслевых лабораториях и в производстве. Многие фирмы, эксплуатирующие ускорители других производителей, приобретают ускорители серии ЭЛВ. Нарботанный опыт проектирования и эксплуатации ускорителей серии ЭЛВ позволяет предложить покупателю машины, не уступающие по своим параметрам лучшим мировым образцам, но и во многом превосходящие их.

8.1.1 Стенд на базе промышленного ускорителя ЭЛВ-6 с выпуском сфокусированного электронного пучка в атмосферу

Ускоритель марки ЭЛВ-6 с выпуском сфокусированного пучка в атмосферу (энергия электронов 1,4 МэВ) использовался для апробации электронно-лучевых технологий в газовой среде при атмосферном давлении. Одним из направлений исследований являлось получение нанопорошков методом испарения исходных материалов с применением электронного пучка в качестве источника энергии. Над испаряющимся материалом создаётся поток транспортирующего газа, в качестве которого используется либо воздух, либо инертный газ, в зависимости от состава получаемого нанопорошка. Образующийся таким образом поток аэрозоля с наночастицами транспортируется к месту сбора наночастиц на фильтре. Подобным методом были получены не только компактные и однородные по составу наночастицы, но и более сложные образования, в частности углеродные нанотрубки и нанохорны. Нанохорны достигали рекордно больших размеров до 300 нм. Получены, также, наночастицы металлов в оболочке из кремния и оксида кремния.



Рис. 8.1.8. Нанохорны, полученные испарением электронным пучком в среде инертного газа при атмосферном давлении.

Другим направлением исследований является формирование различного назначения покрытий на металлических основах. Начиная с 2009 года, были получены коррозионно-стойкие толстые покрытия способом наплавки порошков тантала и ниобия на титановую основу. В данном случае преимущество применения электронного пучка с энергией электронов в МэВ-ном диапазоне заключается в высокой проникающей способности его в порошковые материалы и в возможности формирования однородных слоёв сплавов с температурами плавления вплоть до 3000°C.

8.1.2 Наноконструкции для медицины

Начиная с 2006 года, предпринимались попытки поиска медицинских применений ультрадисперсных порошков, получаемых методом испарения на ускорителе ЭЛВ. В качестве наноразмерных конструкций, позволяющих визуализировать *in-vivo* распределение температуры, кислорода, активности ферментов и воспалительных процессов, были предложены и исследованы, совместно с ИНХ СО РАН и ИЭВРАСХИН, кинетически стабильные комплексы парамагнитных редкоземельных ионов и гелевые латексы, содержащие ультрадисперсные ферромагнетики. Высокочувствительными ЯМР-термозондами оказались фтор и фосфор-содержащие комплексы лантаноидов, термочувствительность которых обусловлена наличием низколежащих возбужденных состояний лантаноида, частично заселенных при комнатной температуре и вызывающих термочувствительный парамагнитный сдвиг частот ЯМР-атомов фтора, водорода или фосфора, принадлежащих молекуле комплексообразователя. Комбинированным анализом лантаноид-индуцированных парамагнитных увеличений скоростей спин-решеточной релаксации и лантаноид-индуцированных сдвигов (ЛИС) в спектрах ЯМР на ядрах лигандов установлено формирование и изучено строение в растворе ряда кинетически стабильных комплексов лантаноидов (Ln). Проведено *in-vitro* ЯМР исследование термодинамики комплексообразования, стехиометрии и молекулярного строения парамагнитных разнолигандных комплексных соединений Ln с анионами порфиринов (Рис. 8.1.9), β-дикетонатов (L), нитратными группами и дитиофосфинами (*i* – ДБДТФ) фторхинолином, а также электронейтральным фенантролином, 2,2-бипиридилем (2,2-*bipy*) и краун-эфирами в растворах.

На примере исследования температурной зависимости ЛИС (Рис.8.1.9) двухпалубных комплексов Ln с порфиринами с учетом вращения фенильных фрагментов тетрафинилпорфириновых анионов показана возможность их

использования в качестве наноразмерных ЯМР термосенсоров в растворах (минимальный размер в направлении, перпендикулярном плоскости анионов порфиринов, составляет ~1,1 нм). Обнаружена корреляция между ростом атомного номера катиона Ln и увеличением энергетического барьера вращения фенильных фрагментов ($\Delta H_{\ddagger} = 48$ (5) и 66 (7) кДж/моль соответственно для Dy и Lu). Это является одним из проявлений эффекта лантидного сжатия, приводящего к уменьшению межплоскостного расстояния между анионами порфиринов и росту стерического барьера при увеличении атомного номера Ln.

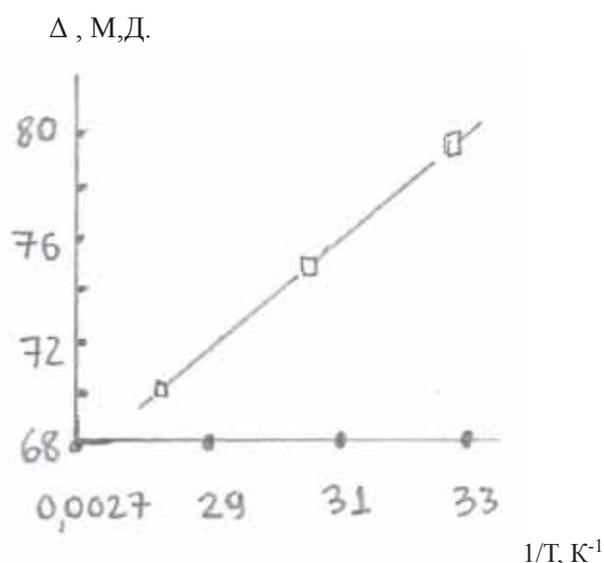


Рис. 8.1.9 Зависимость разности химических сдвигов в спектрах 500 МГц ¹H ЯМР между орто-экзо и орто-эндо атомами фенильного кольца аниона порфирина в комплексах [DyH(oep)(tpp)] от обратной температуры.

Были также получены температурные зависимости ЛИС для групп CH₂ молекул макроцикла 18-crown-6 комплексов, свидетельствующие о возможности их использования как ЯМР-ТСП (Рис.8.1.10). Методом ЯМР установлено формирование кинетически стабильных комплексов Ln с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) в водных растворах в диапазоне рD от 1,6 до 8. При изучении температурной зависимости парамагнитных химических сдвигов и возможности *in vitro* использования комплексов в качестве ЯМР термосенсоров в водных растворах обнаружена линейная зависимость парамагнитных химических сдвигов на ядрах лигандов комплексов Ln от обратной температуры (Рис. 8.1.11).

Показано, что несмотря на осложнения, обусловленные внутри- и межмолекулярной динамикой, взаимосвязанные задачи изучения устойчивости, молекулярного строения, динамики и магнитохимических свойств координа-

ционных соединений 4f-элементов могут быть успешно решены методами ЯМР. Для комплексов празеодима, гольмия и диспрозия найдены условия, позволившие показать *in vitro* возможность использования в качестве субнаноразмерных ЯМР термосенсоров в водных растворах (Рис. 8.1.11).

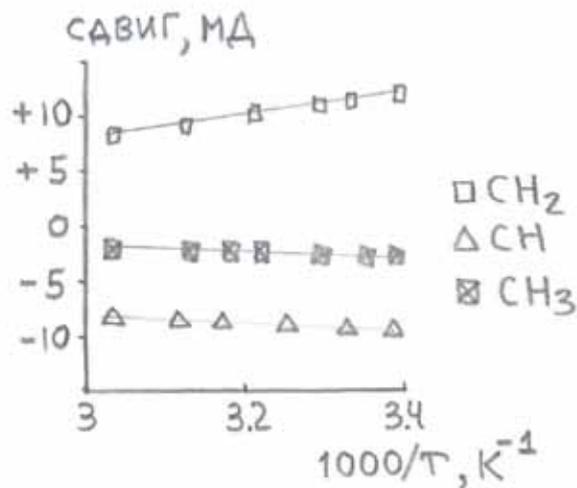


Рис. 8.1.10 Температурная зависимость парамагнитных лантанид-индуцированных сдвигов в 200 МГц ¹H ЯМР спектрах комплексных катионов [Eu(PTA)₂(18-краун-6)]⁺ относительно соответствующих протонов диамагнитного катиона [La(PTA)₂(18-краун-6)]⁺; растворитель CDCl₃

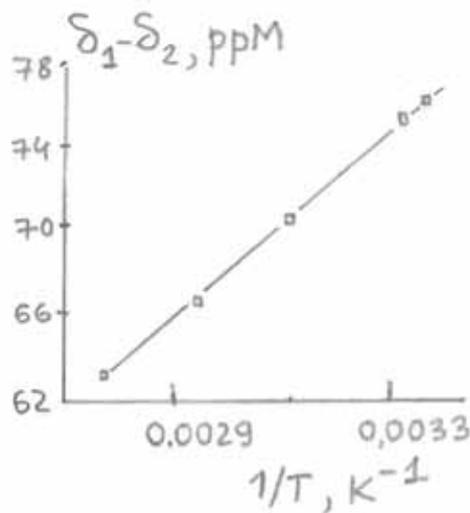


Рис.8.1.11 Зависимость разности лантанид-индуцированных сдвигов в спектрах ¹H ЯМР для различных групп CH₂ комплексов [LnEDTA] от 1/T; растворитель – H₂O, pH=1,6

В результате выполненных исследований показано, что комплексы Ln с EDTA могут быть использованы в качестве ЯМР-термосенсоров для решения термометрических задач в жидких, полимерных и гелеобразных средах, как с помощью серийных ЯМР спектрометров, так

и с помощью магниторезонансных микротомографов.

Совместно с институтами ИНХ СО РАН и институтом экспериментальной ветеринарии изучена возможность визуализации распределения бора в организме животных с помощью ЯМР-томографии. Достигнута *in vivo* чувствительность ЯМР определения бора порядка 300 мкг/г (в случае введения животным микролатексного борсодержащего препарата «магникон»).

Препарат «магникон», разработанный в ИЯФ СО РАН, содержит также ферромагнитный порошок, частицы которого создают градиент магнитного поля, наблюдаемый в ЯМР по изменению скоростей релаксации протонов.

Для определения концентрации ферромагнитных частиц *in vivo* в институте сконструирован квантовый магнетометр с лазерной накачкой парамагнитных паров рубидия-87. Предложена методика диагностики желудочных заболеваний с использованием суспензии магнитных частиц.

Разработана методика получения нерастворимого коллоидного основного сульфасаллицилата висмута - перспективного желудочного рентгеноконтрастного вещества.

В качестве перспективных канцеротропных контрастирующих веществ для ПЭТ диагностики рака были исследованы радиоактивные галогенированные пиримидины, синтезированные лабораторией радиационной химии ИХБФМ СО РАН.

Изучено накопление Вг-77 и тритий содержащего пиримидина в клетках молочной железы мыши после его однократного введения в организм (в случае наличия или отсутствия стимуляции стероидными гормонами). После однократного введения нуклеотида накопления активности продолжаются в течение 45 минут. Обнаружены, также, осцилляции скорости на-

копления бромдезоксисуридина (Рис. 8.1.12)

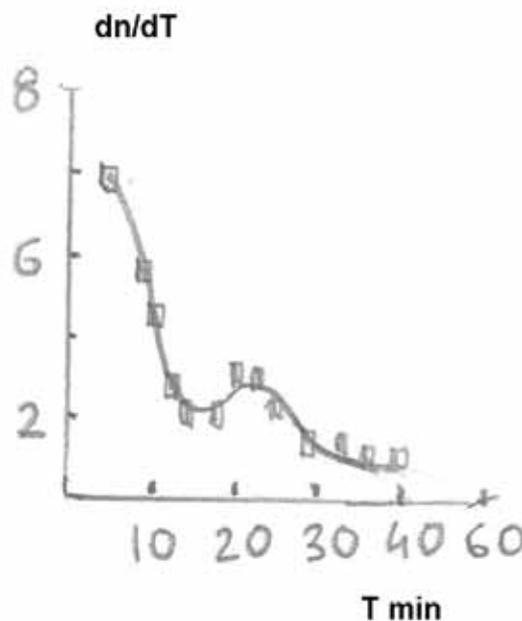


Рис. 8.1.12 Скорость накопления дезоксиуридина Отн. Ед. : производная функции.

Совместно с институтом экспериментальной ветеринарии были изучены факторы, влияющие на радиационную устойчивость коллекционных штаммов сальмонелл, обнаружено радиопротекторное действие антибиотика хлортетрациклина. С помощью магнитных порошков, обработанных фрагментами бактериальной ДНК, удалось трансформировать клетки каланхоэ и добиться секреции агробактериального октопина. Для введения генетических конструкций в клетку с помощью магнитных порошков создан специальный постоянный магнит с градиентом поля 3,5 Тесла на сантиметр.

8.2 Ускорители электронов типа ИЛУ и их применение

8.2.1 Поставки ускорителей

Начиная с 1983 года, ускорители типа ИЛУ поставляются в промышленность и в исследовательские центры. Надежность работы ускорителей и их технический уровень подтверждается новыми поставками оборудования.

В 2011 году изготовлен, испытан в ИЯФ СО РАН и смонтирован у заказчика ускоритель ИЛУ-10 с энергией 5 МэВ и мощностью пучка до 50 кВт. Этот ускоритель будет работать в составе линии по стерилизации изделий медицинского назначения в Парке Ядерных Технологий г. Курчатов, Казахстан.

В этом году продолжены работы по испытанию нового ускорителя ИЛУ-14 с диапазоном

энергии 7,5-10 МэВ и мощностью пучка до 100 кВт. Достигнуты параметры:

- Энергия 7,5 МэВ, импульсный ток пучка 560 мА, частота повторения импульсов 10 Гц, средний ток пучка 2,7 мА, мощность пучка 20 кВт;

- Энергия 10 МэВ, импульсный ток пучка 320 мА, частота повторения импульсов 25 Гц, средний ток пучка 3,8 мА, мощность пучка 38 кВт.

В соответствии с планом работ из-за недостаточной радиационной защиты используемого бункера на территории Института дальнейшее повышение среднего тока и мощности пучка не производилось. В конце 2011 года ускоритель ИЛУ-14 перемещён в специально

оборудованный для него бункер с соответствующей радиационной защитой на территории заказчика в Федеральном медицинском биофизическом центре им. А.И. Бурназяна, г. Москва, для продолжения работ.

В 2011 году был изготовлен и проверен новый конвертор для генерации тормозного излучения на энергию 7,5 МэВ и мощность электронного пучка до 100 кВт, специально разработанный для ускорителя ИЛУ-14.

8.2.2 Совершенствование ускорителей

В 2011 году была разработана новая система сканирования и вывода электронного пучка с независимым питанием и управлением, позволившая улучшить стабильность работы развёртки и улучшить равномерность дозного поля в зоне облучения.

Специально для ускорителя ИЛУ-14 была разработана новая система управления модуляторами ускорителей, позволившая уменьшить неравномерность нагрузки разных фаз питающей трёхфазной сети.

8.2.3 Разработка новых технологий

Работы по радиационно-термическому синтезу сложных оксидных соединений в 2011 году были продолжены. Радиационно-термическое спекание перовскитоподобных соединений для

создания мембран проводилось в рамках Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №82 «Кислородная проницаемость массивных и нанесённых мембран на основе перовскитов со смешанной проводимостью».

Опытные работы по радиационно-термическому синтезу ячеек топливных элементов велись совместно с Институтом катализа СО РАН.

Поисковые работы по радиационной обработке нефтепродуктов проведены в рамках Интеграционного проекта №5, проводимого по заказу Президиума СО РАН «Уникальные устройства и стенды для развития исследовательской инфраструктуры СО РАН, обеспечивающей возможность проведения нестандартных исследований в области химии и биологии. Радиационный крекинг тяжелого нефтяного и альтернативного углеводородного сырья».

Проводилось облучение гудрона для исследования возможности его переработки в более полезные продукты. Проводилось моделирование процессов с использованием различных модельных материалов (парафина, других углеводородов, непредельных соединений).

В работах принимали участие Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН и Институт химии нефти СО РАН, г. Томск.

Проводились тестовые облучения для определения радиорезистентности микроорганизмов.

9
Физика
для
медицины

9.1 Статус работ по БНЗТ

Перспективным подходом в лечении ряда злокачественных опухолей, в первую очередь, трудноизлечимых опухолей головного мозга и меланом, рассматривается бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ). Метод основан на селективном накоплении нерадиоактивного нетоксичного изотопа ^{10}B в опухоли и последующем облучении надтепловыми нейтронами. В результате поглощения нейтрона бором происходит ядерная реакция $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ с большим выделением энергии именно в той клетке, которая содержала ядро бора, что приводит к ее гибели. Проведенные клинические испытания методики на ядерных реакторах продемонстрировали её эффективность в лечении целого ряда опухолей, однако широкое внедрение методики в клиническую практику требует компактных безопасных относительно недорогих источников надтепловых нейтронов. В Институте ядерной физики СО РАН был предложен и сооружен прототип источника эпитепловых нейтронов на основе ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией, обеспечивающий генерацию нейтронов в реакции $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$. Общий вид установки показан на рисунке 9.1.1.

В течение 2011 года была выполнена модернизация ускорителя-тандема, направленная на заметное улучшение рабочих параметров – тока протонного пучка, долговременной стабильности энергии протонного пучка, общей стабильности работы установки. В ходе этой работы было выполнено увеличение диаметров диафрагм в ускорительных электродах, монтаж новой перезарядной мишени с диаметром, увеличенным до 16 мм, подготовлены технические элементы, позволяющие осуществлять коррекцию потенциала первого ускорительного электрода. Для измерения параметров мощного стационарного протонного пучка была изготовлена вторичноэмиссионная диагностика с подвижными сигнальными электродами. Использование новой диагностики позволит мониторировать профиль и положение пучка в различных участках высокоэнергетического тракта, не разрушая пучок при токе протонов на уровне 1,5 мА.

При тренировке ускорителя после увеличения отверстий диафрагм ускорительного тракта зарегистрирован темновой ток повышенной интенсивности, повлекший частичное расплавление диафрагмы высоковольтного электрода. Проведенный анализ регистрируемых токов и потенциалов ускорителя, вакуума, мощности гамма излучения, а также проведенный численный расчет электростатических полей и траекторий эмитированных электронов позволили выяснить причины данного нежелательного явления и внести изменения для его предотвращения.

Предложена методика определения линейной толщины газовой обдирочной мишени по фиксированию момента перехода тока на выходе из отрицательных значений в положительные. Методика позволила установить соответствие между линейной плотностью мишени, газонапуском и давлением остаточного газа. Продемонстрировано хорошее согласие экспериментально измеренной зависимости тока с расчетной. Оценено давление в ускорительном канале. Сформулирована процедура задания параметров системы газонапуска для обеспечения требуемой степени перезарядки пучка.

На входное отверстие первого электрода ускорителя установлен детектор пучка с возможностью измерения радиального распределения плотности тока. Изучена фокусировка пучка отрицательных ионов водорода в ускоритель, которая позволила внести коррекцию в расчет для получения согласия с экспериментом и оптимизировать ускорение пучка.

Выполненные работы и внесенные изменения позволили обеспечить длительную стабильную генерацию протонного пучка с током 1,5 мА, что более чем в 2 раза превышает достигшиеся ранее значения. Намечены пути получения стабильного режима генерации с током до 3 мА.

Для обеспечения долговременной стабилизации энергии протонного пучка был предложен алгоритм, подобрано оборудование, построен экспериментальный стенд, позволяющий стабилизировать энергию ускоряемого пучка, используя в качестве обратной связи поток гамма-квантов с энергией 9,17 МэВ из пороговой реакции $^{13}\text{C}(p,\gamma)^{14}\text{N}$. В ходе серии экспериментов по проверке работоспособности методики удалось получить стабильный уровень интенсивности линии 9,17 МэВ на протяжении около 2,5 часов и обеспечить долговременную стабильность энергии протонов на уровне $\pm 0,1\%$.

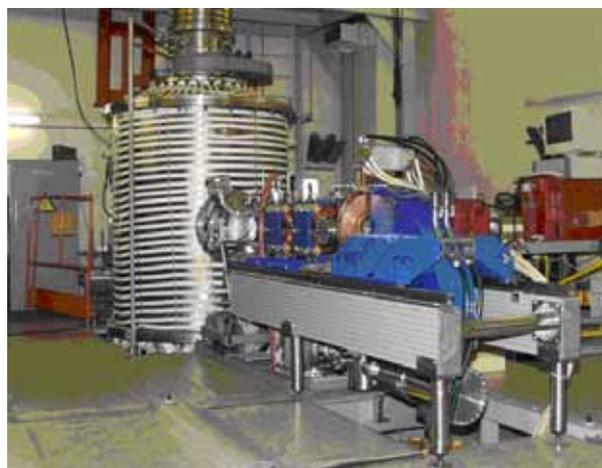


Рис. 9.1.1. Ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией.

9.2 Детекторы рентгеновского излучения для медицины и безопасности

9.2.1 Медицинская рентгенография

Институтом для ЗАО «Научприбор» (г. Орел) произведено 8 экземпляров 1536-канальных детекторов, которые были поставлены в медицинские учреждения России в составе цифровых сканирующих флюорографов ФМЦ-НП-О.

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

Изготовлен и проверен в условиях аэропорта новый вариант установки СРК с уменьшенными габаритами (9,5 м³ вместо 15 м³).

Изготовлено три детектора, предназначенных для комплектации установок СРК, производимых ЗАО «Научприбор».

Разработана новая конструкция детектора для СРК, который имеет пространственное разрешение 1,6 мм и требует меньшую дозу облучения при досмотре. В новом детекторе используются только корпусные микросхемы и более простые печатные платы. Это позволило обойтись без сложной и трудоемкой ультразвуковой сварки, что упростило технологию изготовления детектора и повысило его надежность. Изготовлен пилотный образец такого детектора.

БИБЛИОГРАФИЯ

Список публикаций

- [1] Silagadze Z.K. On the finslerian extension of the Schwarzschild metric. // *Acta Phys. Pol. B*, 2011. - Vol.42, N6. - P.1199-1206.
- [2] Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Nikitin A.K., Zhizhin G.N. A way to determine the permittivity of metallized surfaces at terahertz frequencies. // *Appl. Phys. Lett.*, 2011. - V.98, N17. - P.171912-1-3.
- [3] Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Nikitin A.K., Zhizhin G.N. A way to determine the permittivity of metallized surfaces at terahertz frequencies. // *Appl. Phys. Lett.* - 2011. - Vol.98, N17. - P.171912-1-3.
- [4] Kuznetsov S.A., Paulish A.G., Gelfand V., Lazorskiy P.A., Fedorinin V.N. Bolometric THz-to-IR converter for terahertz imaging. // *Appl. Phys. Lett.*, 2011. - Vol.99, N2. - P.023501-1-3.
- [5] Beruete M., Navarro-Cia M., Kuznetsov S.A., Sorolla M. Circuit approach to the minimal configuration of terahertz anomalous extraordinary transmission. // *Appl. Phys. Lett.*, 2011. - V.98, N1. - P.014106-1-3.
- [6] Mo X.-H., Zhang J.-Y., Zhang Q.-J., Achasov M., Cai X., Fu Ch.-D., Harris F., Liu Q., Muchnoi N., Qin Q., Qu H.-M., Wang Y.-F., Xu J.-Q., Zhang T.-B. Study of radiation background at the north crossing point of the BEPC II in collision mode. // *Chinese Physics C*, 2011. - V.35, N7. - P.642-655.
- [7] Kozyulin M.V., Silagadze Z.K. Light bending by a Coulomb field and the Aichelburg-Sexl ultraboost. // *Eur. J. Phys.*, 2011. - V.32, N11. - P.1357-1365.
- [8] Aad G., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Kotov K.Y., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Panin V.N., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Measurement of inclusive jet and dijet cross sections in proton-proton collisions at 7TeV centre-of-mass energy with the ATLAS detector. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - V.71, N2. - P.1512 (59 p.).
- [9] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the top quark-pair production cross section with ATLAS in pp collisions at radical $s=7$ TeV. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - V.71, N6. - P.1577 (36 p.).
- [10] Eidelman S.I., Fedotov G.V., Kuraev E.A., Sibidanov A.L. Monte-Carlo generator photon jets for the process $e+e- \rightarrow \gamma\gamma$. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - Vol.71, N6. - P.1597.
- [11] Aamodt K., ALICE Collab., Frolov A., Pestov Y. Production of pions, kaons and protons in pp collisions at radical $s=900$ GeV with ALICE at the LHC. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - V.71, N6. - P.1655-1678.
- [12] Aamodt K., ALICE Collab., Pestov Y. Strange particle production in proton-proton collisions at radical $s=0.9$ TeV with ALICE at the LHC. // *Eur. Phys. J. C*. 2011. - V.71, N5. - P.1594-1618.
- [13] Aad G., ATLAS Collab., Kazanin V.A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A. Studies of the performance of the ATLAS detector using cosmic-ray muons. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - V.71. - P.1-36.
- [14] Dimov G.I. Feasible scenario of startup and burnup of plasma in ambipolar D-T reactor. // *Fusion Sci. Technol.*, 2011. - V.59, N1T. - P.208-210.
- [15] Ivanov A.A. Perspectives of development of magnetic mirror traps in Novosibirsk. // *Fusion Sci. Technol.*, 2011. - V.59, N1T. - P.17-22.
- [16] Beklemishev A.D. Tail-waving system for active feedback stabilization of modes in open traps. // *Fusion Sci. Technol.*, 2011. - V.59, N1T.-P.90-93.
- [17] Beklemishev A.D. Three-dimensional force-free equilibria in open traps driven electron beams. // *Fusion Sci. Technol.*, 2011. - V.59, N1T. - P.184-186.
- [18] Miginsky S. Compact submillimeter FEL project [Electronic resource]. // *Journal Korean Phys. Soc.*, 2011. - V.59, N5. - P.3246-3250.
- [19] Fatyanov A.G., Terekhov A.V. High-performance modeling acoustic and elastic waves using the parallel Dichotomy Algorithm. // *Journal of Computational Physics*, 2011. - V.230, N5. - P.1992-2003.
- [20] Epifanov D. Electromagnetic calorimeters of the CMD-3 detector. // *Journal of Physics: Conference Series*, 2011. - V.293. - P.012009 (6p).
- [21] Koop I.A., Bogomyagkov A.V., Otboev A.V. Longitudinally polarized electrons in Novosibirsk c-tau factory. // *Journal of Physics: Conference Series*, 2011. - V.295. - P.012160 (6p).

- [22] Shatunov Yu.M. Polarized beam studies at Budker Institute. // Journal of Physics: Conference Series, 2011. - V.295. - P.012016 (9 p.).
- [23] Dmitriev V.F., Milstein A.I., Salnikov S.G. Spin-dependent part of p anti p interaction cross section and Nijmegen potential. // Journal of Physics: Conference Series, 2011. - V.295. - P.012088 (5p.).
- [24] Sadykov V.S., Mezentsева N., Usoltsev V., Sadovskaya E., Ishchenko A., Pavlova S., Bepalko Yu., Kharlamova T., Zevak E., Salanov A., Krieger T., Belyaev V., Bobrenok O., Uvarov N., Okhlupin Yu., Smorygo O., Smirnova A., Singh P., Vlasov A., Korobeynikov M., Bryazgin A., Kalinin P., Arzhannikov A. Solid oxide fuel cell composite cathodes based on perovskite and fluorite structures. // Journal of Power Sources, 2011. - V.196, N17. - P.7104-7109.
- [25] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Charged-particle multiplicities in pp interactions measured with the ATLAS detector at the LHC [Electronic resource]. // New Journal of Physics, 2011. - V.13, N5. - P.053033 (68p.).
- [26] Petrenko A.V. Calibrating the electron-optical model of the VEPP-5 damping ring. // Nuclear Experimental Technique, 2011. - V.54, N1. - P.8-15.
- [27] Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Sokolov A., Akimov D., Alexandrov I., Breskin A. Geiger mode APD performance in a cryogenic two-phase Ar avalanche detector based on THGEMs. // NIM A, 2011. - V.628, N1. - P.364-368.
- [28] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Michnoi N.Yu., et al. Observation of χ_{c1} decaying into the p anti p K+K- final state. // Phys., 2011. - V.83, N11. - P.112009-1-9.
- [29] Khriplovich I.B., Rudenko A.S. Can CP-violation be observed in heavy-ion collisions? // Physics Procedia, 2011. - V.17. - P.123-125.
- [30] Skorodko T., Shwartz B., Zlomanczuk J., et al. Delta Delta excitation in proton-proton induced $\pi^0 \pi^0$ production. // Phys. Lett. B, 2011. - V.695, N1/4. - P.115-123.
- [31] Akhmetshin R.R., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Barkov L.M., Baru S.E., Bashtovoy N.S., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Fedotov G.V., Gabyshev N.I., Grebenuk A.A., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Karpov S.V., Kazanin V.F., Khazin B.I., Koop I.A., Krokovny P.P., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Lysenko A.P., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Perevedentsev E.A., Popov A.S., Redin S.I., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Shatunov Yu.M., Shwartz B.A., Sibidanov A.L., Snopkov I.G., Solodov E.P., Yudin Yu.V., Zaitsev A.S., et al. Measurement of $\phi(1020)$ meson leptonic width with CMD-2 detector at VEPP-2M collider. // Phys. Lett. B, 2011. - Vol.695, N5. - P.412-418.
- [32] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the centrality dependence of J/psi yields and observation of Z production in lead-lead collisions with the ATLAS detector at the LHC. // Phys. Lett. B, 2011. - V.697, N4. - P.294-312.
- [33] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the Gamma(1S) production cross-section in pp collisions at radical s = 7 TeV in ATLAS. // Phys. Lett. B, 2011. - V.705, N1/2. - P.9-27.
- [34] Aamondt K., ALICE Collab., Pestov Y., et al. Rapidity and transverse momentum dependence of inclusive J/psi production in pp collisions at radical s = 7 TeV. // Phys. Lett. B, 2011. - V.704, N5. - P.442-455.
- [35] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for quark contact interactions in dijet angular distributions in pp collisions at radical s = 7 TeV measured with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B, 2011. - V.694, N4/5. - P.327-345.
- [36] Aamodt K., ALICE Collab., Pestov Y., et al. Suppression of charged particle production at large transverse momentum in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s} \text{NN} = 2.76 \text{ TeV}$. // Phys. Lett. B, 2011. - V.696, N1/2. - P.30-39.
- [37] Aamodt K., ALICE Collab., Pestov Y., et al. Two-pion Bose-Einstein correlations in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s} \text{NN} = 2.76 \text{ TeV}$. // Phys. Lett. B, 2011. - V.696, N4. - P.328-337.
- [38] Blinov A.E., Rudenko A.S. Upper limits on electric and weak dipole moments of W-boson. // Phys. Lett. B, 2011. - V.699, N4. - P.287-290.

- [39] Miyazaki Y., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Search for lepton-flavor-violating tau decays into a lepton and a vector meson. // *Phys. Rev. B*, 2011. - Vol.699, N4. - P.251-257.
- [40] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Amplitude analysis of $B^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0$ and evidence of direct CP violation in $B \rightarrow K^* \pi$ decays. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.83, N11. - P.112010-1-21.
- [41] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Analysis of the $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ e^+ \nu_e$ decay channel. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.83, N7. - P.072001-1-35.
- [42] Choi S.-K., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Bounds of the width, mass difference and other properties of $X(3872) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$ decays. // *Phys. Rev. D*, 2011. - Vol.84, N5. - P.052004-1-16.
- [43] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Branching fraction measurements of the color-suppressed decays anti B^0 to $D/sab^{(*)} \pi^0$, $D/sab^{(*)} \eta$, $D/sab^{(*)} \omega$, and $D/sab^{(*)} \eta'$ and measurement of the polarization in the decay anti $B^0 \rightarrow D/sab^{(*)} \omega$. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.84, N11. - P.112007-1-25.
- [44] Del Amo Sanchez P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Dalitz plot analysis of $D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.83, N5. - P.052001-1-20.
- [45] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Evidence for the $h_b(1P)$ meson in the decay $\Gamma(3S) \rightarrow \pi^0 h_b(1P)$. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.84, N9. - P.091101-1-8.
- [46] Aamodt K., ALICE Collab., Pestov Y., et al. Femtoscopy of pp collisions at radical $s = 0.9$ and 7 TeV at the LHC with two-pion Bose-Einstein correlations. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.84, N11. - P.112004-1-22.
- [47] Sahoo H., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., et al. (Belle Collab.). First observation of radiative $B^0 \rightarrow \phi K^0 \gamma$ decays and measurements of their time-dependent CP violation. // *Phys. Rev. D*, 2011. - Vol.84, N7. - P.071101-1-6.
- [48] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu. First observation of the decays $X_{sJ} \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0 \pi^0$. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.83, N1. - P.012006-1-7.
- [49] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., et al. Higher-order multipole amplitude measurement in $\phi' \rightarrow \gamma X_{c2}$. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.84. - P.092006-1-9.
- [50] Pakhlova G., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurement of $e^+ e^- \rightarrow D^{(*)} + D_s^{(*)}$ cross sections near threshold using initial-state radiation. // *Phys. Rev. D*, 2011. - Vol.83, N1. - P.011101-1-7.
- [51] del Amo Sanchez P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N. Measurement of the $B \rightarrow$ anti $D/sab^{(*)} / D/sab^{(*)} / K$ branching fractions. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.83, N3. - P.032004-1-16.
- [52] del Amo Sanchez P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Measurement of the $B^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu$ and $B^+ \rightarrow \eta / sab^{(*)} / l^+ \nu$ branching fractions, the $B^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu$ and $B^+ \rightarrow \eta l^+ \nu$ form-factor shapes, and determination of $|V_{ub}|$. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.83, N5. - P.052011-1-16.
- [53] Ha H., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Zhulanov V., et al. Measurement of the decay $B^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu$ and determination of $|V_{ub}|$. // *Phys. Rev. D*, 2011. - Vol.83, N7. - P.071101-1-6.
- [54] Del Amo Sanchez P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Measurement of the $\gamma \gamma^* \rightarrow \eta$ and $\gamma \gamma^* \rightarrow \eta'$ transition form factors. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.84, N5. - P.052001-1-19.
- [55] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the inclusive isolated prompt photon cross section in pp collisions at radical $s=7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. D*, 2011. - V.83, N5. - P.052005-1-31.

- [56] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Measurement of the mass and width of the $D_{s1}(2536)^+$ meson. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83, N7. - P.072003-1-14.
- [57] Ablikim M., BESIII Collab, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu. Measurement of the matrix element for the decay $\eta' \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-$. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83, N1. - P.012003-1-10.
- [58] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of underlying event characteristics using charged particles in pp collisions at radical $s = 900$ GeV and 7 TeV with the ATLAS detector. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83, N11. - P.112001-1-34.
- [59] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N. et al. Measurements of branching fractions and CP asymmetries and studies of angular distributions for $B \rightarrow \phi \phi K$ decays. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N1. - P.012001-1-13.
- [60] Bahinipati S., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Poluektov A., Vinokurova A., et. al. (Belle Collab.). Measurements of time-dependent CP asymmetries in $B \rightarrow D^{*\pm} \pi^\pm$ decays using a partial reconstruction technique. // Phys. Rev. D, 2011. - Vol.84, N2. - P.021101-1-7.
- [61] Chen P., Aulchenko V., Eidelman S., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., et. al. (Belle Collab.). Observation of $B^- \rightarrow \text{anti } p \Lambda D^0$ at Belle. // Phys. Rev. D, 2011. - Vol.84, N7. - P.071501-1-7.
- [62] Del Amo Sanchez P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Observation of $\eta_c(1S)$ and $\eta_c(2S)$ decays to $K^+K^- \pi^+\pi^0$ in two-photon interactions. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N1. - P.012004-1-9.
- [63] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Observation of the baryonic B decay $\text{anti } B^0 \rightarrow \Lambda_b^+ \text{ anti } \Lambda_b^-$. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N7. - P.071102-1-7.
- [64] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Observation of the rare decay $B^+ \rightarrow K^+ \pi^0 \pi^0$ and measurement of the quasi-two-body contributions $B^+ \rightarrow K^*(892) \pi^0$, $B^+ \rightarrow f_0(980) K^+$, and $B^+ \rightarrow \chi_{c0} K^+$. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N9. - P.092007-1-11.
- [65] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Searches for rare or forbidden semileptonic charm decays. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N7. - P.072006-1-13.
- [66] Del Amo Sanchez P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Searches for the baryon- and lepton-number violating decays $B^0 \rightarrow \Lambda_b^+ \text{ c } l^-$, $B^- \rightarrow \Lambda_b^- l^-$, and $B^- \rightarrow \text{anti } \Lambda_b^-$. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83, N9. - P.091101-1-8.
- [67] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Search for $b \rightarrow u$ transitions in $B^{+-} \rightarrow [K^+ \pi^+ \pi^0]_D / K^+ \text{ decays}$. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N1. - P.012002-1-10.
- [68] Wang X.L., Eidelman S., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Zhilich V., et. al. (Belle Collab.). Search for charmonium and charmoniumlike states in $Y(2S)$ radiative decays. // Phys. Rev. D, 2011. - Vol.84, N7. - P.071107-1-7.
- [69] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for contact interactions in dimuon events from pp collisions at radical $s = 7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N1. - P.011101-1-18.
- [70] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., et al. Search for CP and P violating pseudoscalar decays into $\pi \pi$. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N3. - P.032006-1-7.
- [71] Del Amo Sanchez P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Search for CP violation in the decay $D^{+-} \rightarrow K^0 \text{ s } \pi^\pm$. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83, N7. - P.071103-1-8.
- [72] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A.,

- Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Search for CP violation using T-odd correlations in $D^+ \rightarrow K^+ K^0/\text{sub } s/ \pi^+\pi^-$ and $D^+/\text{sub } s/ \rightarrow K^+ K^0/\text{sub } s/ \pi^+\pi^-$ decays. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N3. - P.031103-1-9.
- [73] Ablikim M., BESSIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., et al. Search for η'_c decays into vector meson pairs. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N9. - P.091102-1-7.
- [74] Seon O., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zykova O., et al. (Belle Collab.). Search for lepton-violating $B^+ \rightarrow D^- l^+ l^+$ decays. // Phys. Rev. D, 2011. - Vol.84, N7. - P.071106-1-7.
- [75] del Amo Sanchez P., BABAR Collab, Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N. Search for the decay $B^0 \rightarrow \gamma \gamma$. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83, N3. - P.032006-1-11.
- [76] del Amo Sanchez P., BABAR Collab, Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N. Studies of $\tau^- \rightarrow \eta K^- \nu_\tau$ and $\tau^- \rightarrow \eta \pi^- \nu_\tau$ at BABAR and a search for a second-class current. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83, N3. - P.032001-1-10.
- [77] Ablikim M., BES III Co, Achasov M.N. Study of $a_0(980) - f_0(980)$ mixing. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83, N3. - P.032003-1-11.
- [78] del Amo Sanchez P., BABAR Collab, Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N. Study of $B \rightarrow \rho \tau \nu$ and $B \rightarrow \rho \tau \nu$ decays and determination of $|V_{ub}|$. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83, N3. - P.P. 032007-1-45.
- [79] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., et al. Study of $\chi/\text{sub } cJ/$ radiative decays into a vector meson. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83, N11. - P.112005-1-9.
- [80] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Study of dipion bottomonium transitions and search for the $h_b(1P)$ state. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N1. - P.011104-1-9.
- [81] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Study of $\Gamma(3S,2S) \rightarrow \eta \Gamma(1S)$ and $\Gamma(3S,2S) \rightarrow \pi^+\pi^- \Gamma(1S)$ hadronic transitions. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N9. - P.092003-1-8.
- [82] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Study of jet shapes in inclusive jet production in pp collisions at radical $s=7$ TeV using the ATLAS detector. // Phys. Rev. D, 2011. - V.83. - P.052003-1-29.
- [83] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Study of radiative bottomonium transitions using converted photons. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N7. - P.072002-1-17.
- [84] Guler H., Arinstein K., Aulchenko V., Eidelman S., Kuzmin A., Poluektov A., Zhilich V., Zhulanov V. (Belle Collab.). Study of the $K^+ \pi^+ \pi^-$ final state in $B^+ \rightarrow J/\psi K^+ \pi^+ \pi^-$ and $B^+ \rightarrow \psi' K^+ \pi^+ \pi^-$. // Phys. Rev. D, 2011. - Vol.83, N3. - P.032005-1-29.
- [85] Ablikim M., BESSIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., et al. Confirmation of the X(1835) and observation of the resonances X(2120) and X(2370) in $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^+ \pi^- \eta'$. // Phys. Rev. Lett., 2011. - V.106, N7. - P.072002-1-5.
- [86] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Mikolaev I.B., et al. $\eta \pi^+\pi^-$ resonant structure around 1.8 GeV/s/ sab 2/ and $\eta(1405)$ in $J/\psi \rightarrow \omega \eta \pi^+\pi^-$. // Phys. Rev. Lett., 2011. - V.107, N18. - P.182001-1-6.
- [87] Horii Y., Arinstein K., Aulchenko V., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Poluektov A., Shebalin V., Usov Y., Vinokurova A., Zhulanov V., et al. (Belle Collab.). Evidence for the suppressed decay $B^- \rightarrow DK^-$, $D \rightarrow K^+ \pi^-$. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.106, N23. - P.231803-1-6.
- [88] Aad G., ATLAS Collab., Pestov Y., et al. Higher harmonic anisotropic flow measurements of charged particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s} NN=2.76$ TeV. // Phys. Rev. Lett., 2011. - V.107, N3. - P.032301-1-10.
- [89] Li J., Arinstein K., Aulchenko V., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., et al. (Belle Collab.). Observation of $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$ and evidence for $J/\psi f_0(1370)$. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.106, N12. - P.121802-1-5.
- [90] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., et al. Observation of χ_{c1} decays into vector meson pairs $\phi \phi$, $\omega \omega$, and $\omega \phi$. // Phys. Rev. Lett., 2011. - V.107, N9. - P.092001-1-6.

- [91] Won E., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et. al. (Belle Collab.). Observation of $D^+ \rightarrow K^+ \eta^{(0)}$ and search for CP violation in $D^+ \rightarrow \pi^+ \eta^{(0)}$ decays. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.107, N22. - P.221801-1-6.
- [92] del Amo Sanchez P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Observation of the decay $B^- \rightarrow D/sab (*)+ / sub s/ K^- l^- anti \nu_l$. // Phys. Rev. Lett., 2011. - V.107, N4. - P.041804-1-8.
- [93] Vossen A., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Shebalin V., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., et. al. (Belle Collab.). Observation of transverse polarization asymmetries of charged pion pairs in $e^+ e^-$ annihilation near radical $\sqrt{s}=10.58$ GeV. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.107, N7. - P.072004-1-7.
- [94] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshv A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A. Search for a standart model Higgs boson in the $H \rightarrow ZZ \rightarrow l+l^- \nu anti \nu$ decay channel with the ATLAS detector. // Phys. Rev. Lett., 2011. - V.107, N22. - P.221801-16.
- [95] Ko B.R., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et. al. (Belle Collab.). Search for CP violation in the decays $D^0 \rightarrow K_s^0 P^0$. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.106, N21. - P.211801-1-6.
- [96] del Amo Sanchez P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Search for production of invisible final states in single-photon decays of $\Gamma(1S)$. // Phys. Rev. Lett., 2011. - V.107, N2. - P.021804-1-7.
- [97] Socol Y., Kulipanov G.N., Matveenko A.N., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A. Compact 13.5-nm free-electron laser for extreme ultraviolet lithography [Electronic resource]. // Phys. Rev. Spec. Top. - Ac., 2011. - V.4, N14. - P.040702-1 - 040702-7.
- [98] Vinokurov N.A., Shevchenko O.A., Tcheskidov V.G. Variable-period permanent magnet undulators [Electronic resource]. // Phys. Rev. Spec. Top. - Ac., 2011. - V.4, N14. - P.040701-1 - 040701-7.
- [99] Smirnov A., Krivenko A.S., Murakhtin S.V., Savkin V.Ya., Korepanov S.A., Putvinski S. Neutral beam dump with cathodic arc titanium gettering. // Rev. Sci. Instrum., 2011. - V.82, N3. - P.033509-1-6.
- [100] Skuzovatov S.Yu., Zedgenizov D.A., Shatsky V.S., Ragozin A.L., Kuper K.E. Composition of cloudy microinclusions in octahedral diamonds from the Internatsional'naya kimberlite pipe (Yakutia). // Russian Geology and Geophysics, 2011. - V.52, N1. - P.85 - 96.
- [101] Козлов А.С., Петров А.К., Винокуров Н.А. Исследование нанообъектов различной природы методом субмиллиметровой лазерной абляции. // Автометрия, 2011. - Т.47, N4. - С.3-15.
- [102] Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Марчишин И.В., Овсяк В.Н., Фомин Б.И., Князев Б.А., Герасимов В.В. Применение неохлаждаемых матричных микроболометрических приёмников для регистрации излучения терагерцового спектрального диапазона. // Автометрия, 2011. - Т.47, N5. - С.109-113.
- [103] Lotov K.V., Maslov V.I., Onishchenko I.N., Vesnovskaya M.S. To the mechanism of instability of cylindrical relativistic electron beam in plasma. // ВАИТ. Сер. Физика плазмы, 2011. - N1(71). - С.83-85.
- [104] Lotov K., Maslov V.I., Onishchenko I.N., Yarovaya I.P. Transformation ratio at interaction of long sequence of electron bunches with plasma. // ВАИТ. Сер. Ядер.- физ. исследования, 2011. - V.73, N3. - P.87-91.
- [105] Жмуриков Е.И., Савченко И.В., Станкус С.В., Тесchio L. Измерения теплофизических свойств графитовых композитов для конвертора нейтронной мишени. // Вестн. НГУ. Сер. Физика, 2011. - Т.6, N2. - С.77-84.
- [106] Арбузов В.С., Горникер Э.И., Козырев Е.В., Кондаков Е.В., Петров В.М., Пилан А.М., Ческидов В.Г. Модернизация мощных непрерывных ВЧ генераторов модульного типа для электронных ускорителей. // Вестн. НГУ. Сер. Физика, 2011. - Т.6, N3. - С.11-20.
- [107] Мигинский С.В. Проект компактного терагерцового лазера на свободных электронах. // Вестн. НГУ. Сер. Физика, 2011. - Т.6, N1. - С.95-103.
- [108] Иванов А.В. Расчет предельного первеанса круглого пучка, частично заполняющего цилиндрическую вакуумную камеру. // Вестн. НГУ. Сер. Физика, 2011. - Т.6, N2. - С.43-49.
- [109] Черноусов Ю.Д., Левичев А.Е., Павлов В.М., Шамуилов Г.К. Тонкая диафрагма в прямоугольном волноводе. // Вестн. НГУ. Сер. Физика, 2011. - Т.6, N1. - С.44-49.
- [110] Винокуров Н.А., Кулипанов Г.Н., Скринский Н.А. Лазеры на свободных электронах - достижения и перспективы. // Вестн. РАН, 2011. - Т.81, N6. - С.520-524.

- [111] Митянина Н.В., Петров В.М. Влияние обратных связей в высокочастотной ускоряющей системе и фидеров между генераторами высокочастотной мощности и ускоряющими резонаторами на дипольные синфазные колебания сгустков в циклических ускорителях. // ЖТФ, 2011. - Т.81, N10. - С.91-94.
- [112] Беркаев Д.Е., Шварц Д.Б., Шатунов П.Ю., Роговский Ю.А., Романов А.Л., Кооп И.А., Шатунов Ю.М., Землянский И.М., Лысенко А.П., Переведенцев Е.А., Станкевич А.С., Сенченко А.И., Хазин Б.И., Анисенков А.В., Гаязов С.Е., Козырев А.Н., Рыжененков А.Е., Шемякин Д.Н., Эпштейн Л.Б., Середняков С.И., Астигеевич П.М., Коврижин Д.П., Мартин К.А., Образовский А.Е., Сурин И.К., Кардапольцев Л.В., Беликов О.В., Горчаков К.М., Кирпотин А.Н., Скринский А.Н. Электрон-позитронный коллаيدر ВЭПП-2000. Первые эксперименты. // ЖЭТФ, 2011. - Т.140, N2(8). - С.247-255.
- [113] Чопорова Ю.Ю., Власенко М.Г., Герасимов В.В., Иргалин Т.Н., Князев Б.А., Черкасский В.С. Запись и восстановление осевых голограмм амплитудных объектов в терагерцовом диапазоне частот с использованием лазера на свободных электронах. // Изв. вузов. Радиофизика, 2011. - Т.LIV, N8/9. - С.649-655.
- [114] Полетика И.М., Иванов Ю.Ф., Голковский М.Г., Крылова Т.А., Тересов А.Д., Макаров С.А. Создание нового класса покрытий методом двойной электронно-лучевой обработки. // Перспективные материалы, 2011. - N1. - С.71-81.
- [115] Шкляев А.А., Романюк К.Н., Латышев А.В., Аржанников А.В. Влияние дислокаций на форму островков при росте кремния на оксидированной поверхности Si(111). // Письма в ЖЭТФ, 2011. - Т.94, N6. - С.477-480.
- [116] Батраков А.М., Вагин П.В., Воблый П.Д., Гуров Д.С., Зубков Н.И., Ильин И.В., Огурцов А.Б., Тишер М., Уткин А.В., Хавин Н.Г., Холопов М.А., Шичков Д.С. Вигглеры на постоянных магнитах для уменьшения эмиттанса источника синхротронного излучения PETRA III. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2011. - N11. - С.18-25.
- [117] Косов А.В., Купер Э.А., Шеромов М.А. Высоковакуумная ионизационная камера с высоким пространственным разрешением для мониторинга пучка СИ. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2011. - N11. - С.44-48.
- [118] Генцелев А.Н., Голубцов С.К., Гольденберг Б.Г., Кондратьев В.И., Пиндюрин В.Ф., Зелинский А.Г. Использование графитовой фольги в качестве несущей мембраны LIGA-шаблонов. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2011. - N8. - С.19-24.
- [119] Батраков А.М., Воблый П.Д., Ильин И.В., Огурцов А.Б., Уткин А.В., Шичков Д.С., Тишер М., Вагин П.В. Комплекс аппаратных и программных средств для точной настройки вигглеров-затухателей накопителя PETRA III. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2011. - N11. - С.26-35.
- [120] Гольденберг Б.Г., Абрамский А.Ю., Зелинский А.Г., Маслий А.И., Максимовский Е.А., Кондратьев В.И., Корольков В.П., Купер К.Э., Петрова Е.В., Пиндюрин В.Ф. Особенности изготовления шаблонов для глубокой рентгеновской технологии в сибирском центре синхротронного и терагерцевого излучения. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2011. - N2. - С.61-68.
- [121] Семенов А.М., Анашин В.В., Гончарова Н.Ф., Ушаков В.А., Филипченко А.В., Щеголев Л.М. Статус и описание вакуумной системы ТНК. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2011. - N11. - С.39-43.
- [122] Бежанов В.А., Зинин Э.И., Каримов Д.Н., Михайлин В.В., Чернов С.П. Спектроскопические исследования широкозонных фторидных кристаллов, активированных ионами некоторых редкоземельных элементов, при рентгеновском возбуждении. // Поверхность. Физика. Химия. Механика, 2011. - N1. - С.48-52.
- [123] Петренко А.В. Калибровка электронно-оптической модели накопителя-охладителя инжекционного комплекса ВЭПП-5. // ПТЭ, 2011. - N1. - С.12-19.
- [124] Брязгин А.А., Безуглов В.И., Кокин Е.Н., Коробейников М.В., Кузнецов Г.И., Макаров И.Г., Острейко Г.Н., Панфилов А.Д., Радченко В.М., Сердобинцев Г.В., Сидоров А.В., Тарнецкий В.В., Тиунов М.А., Факторович Б.Л., Чернов К.Н., Ческидов В.Г. Промышленный линейный ускоритель электронов модульного типа ИЛУ-14. // ПТЭ, 2011. - N3. - С.5-21; [Instruments and Experimental Techniques (Online) A, 2011. - Vol.54, N3. - P.295-311].
- [125] Kabantsev A.A., Dubin D.H.E., Tsidulko Y.A., Driscoll C.F. Chaotic neoclassical transport at azimuthally perturbed or wave-mingled separatrix. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.150-153.
- [126] Listopad A., Davydenko V., Freutel S., Ivanov A., Schweer B., Zlobinski M. Characterization of RUDI neutral beam parameters by optical diagnostics. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.274-276.
- [127] Dimov G.I., Emelev I.S., Vobly P.D., Kobets V.V., Tiunov M.A. Multicusp trap with circular geometry for confinement of low-temperature plasma. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.211-213.

- [128] Skovorodin D.I., Beklemishev A.D. Numerical kinetic model of axial confinement in a mirror trap. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.199-201.
- [129] Astrelin V., Burfakov A., Vshivkov V., Vshivkov K., Medvedev S., Shvab I., Yakunkin N. Numerical modeling of plasma dynamics in non-uniform magnetic field. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.313-315.
- [130] Driscoll C.F., Kabantsev A.A., Dubin D.H.E., Tsidulko Y.A. Overview of transport, damping, and wave couplings from separatrix dissipation in an axisymmetric plasma. // Fusion Sci. Technol., 2011. - N1T. - P.170-175.
- [131] Timofeev I.V., Terekhov A.V. Simulations of turbulent plasma heating by powerful electron beams. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.70-73.
- [132] Shikhovtsev I.V., Averbukh I.I., Belov V.P., Davydenko V.I., Deichuli P.P., Ivanov A.A., Kapitonov V.A., Podyminogin A.A., Sorokon A.V. A continuously operated 70 mA, 50 keV proton source plasma diagnostic and other applications. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.283-285.
- [133] Bagryansky P.A., Anikeev A.V., Beklemishev A.D., Donin A.S., Ivanov A.A., Korzhavina M.S., Kovalenko Y.V., Kruglyakov E.P., Lizunov A.A., Maximov V.V., Murakhtin S.V., Prikhodko V.V., Pinzhenin E.I., Pushkareva A.N., Savkin V.Y., Zaytsev K.V. Confinement of hot ion plasma with $\beta=0.6$ in the gas dynamic trap. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.31-35.
- [134] Batkin V.I., Bobylev V.B., Burdakov A.V., Davydenko V.I., Ivanov A.A., Kapitonov V.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sorokina N.V., Sulyaev Yu.S., Trunev Yu.A. Development of new neutral beam injection system on GOL-3 Facility. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.262-264.
- [135] Prikhodko V.V., Bagryansky P.A., Beklemishev A.D., Kolesnikov E.Y., Kotelnikov I.A., Maximov V.V., Pushkareva A.N., Soldatkina E.I., Tsidulko Y.A., Zaytsev K.V. Low-frequency oscillations of plasma in the Gas Dynamic Trap. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.94-97.
- [136] Anderson J.K., Almagri A.F., Chapman B.E., Davydenko V.I., Deichuli P., Hartog D.J., Forest C.B., Fiksel G., Ivanov A.A., Liu D., Nornberg M.D., Sarff J.S., Stupishin N., Waksman J. Majority ion heating neutral beam injection and confinement of fast ions in the madison symmetric torus reversed field pinch. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.27-30.
- [137] Shatilov D., Levichev E., Simonov E., and Zobov M. Application of frequency map analysis to beam-beam effects study in crab waist collision scheme. // APS Journals, Phys. Rev. ST, Accel. Beams, 21 January 2011. - Vol.14, Issue 1. - (13 pages).
- [138] E.V. Abakumova, M.N. Achasov, V.E. Blinov, X. Cai, H.Y. Dong, C.D. Fu, F.A. Harris, V.V. Kaminsky, A.A. Krasnov, Q. Liu, X.H. Mo, N.Yu. Muchnoi, I.B. Nikolaev, Q. Qin, H.M. Qu, S.L. Olsen, E.E. Pyata, A.G. Shamov, C.P. Shen, K.Yu. Todyshev, G.S. Varner, Y.F. Wang, Q. Xiao, J.Q. Xu, J.Y. Zhang, T.B. Zhang, Y.H. Zhang, A.A. Zhukov. The beam energy measurement system for the Beijing electron-positron collider. // NIM A, 2011. - V.659. - P 21-29.
- [139] Абакумова Е.В., Жуков А.А., Краснов А.А. Плоское фланцевое соединение на основе медных уплотнений со ступенчатой формой поперечного сечения. // Вакуумная техника и технология, 2011. - Том 21, N1. - С.41-44.
- [140] Абакумова Е.В., Анашин В.В., Balewski K., Voespflug R., Гусев Г.А., Левичев Е.Б., Краснов А.А., Кузьминых В.С., Nagorny V., Пупков Ю.А., Семенов А.М., Смалюк В.В., Tischer M., Wedekind H-P., Zarfe K., Жуков А.А., Золотарев К.В. Вакуумная система секций охлаждения пучка PETRA III. // Вакуумная техника и технология, 2011. - Том 21, N2, 2011. - С.85-89.
- [141] Bondar A.E., Dmitriev V.F., Milstein A.I., Strakhovenko V.M. Nucleon polarization in the process $e+e- \rightarrow N$ anti N near threshold. // Phys. Lett. B, 2011. - V.697, N2. - P.159-163.
- [142] Milstein A.I., Terekhov I.S. Induced current in the presence of a magnetic flux tube of small radius. // Phys. Rev. B, 2011. - V.83, N7. - P.075420-1-5.
- [143] Р. Н. Ли, А. И. Мильштейн, И.С. Терехов. Релятивистская кулоновская функция Грина в d измерениях. // ЖЭТФ, 2011. - Вып.140, N2(8). - С.236-240; [JETP, 2011, Vol.113, P.202].
- [144] A.E. Bondar, A. Garmash, A.I. Milstein, R. Mizuk, and M.B. Voloshin. Heavy quark spin structure in Z_b resonances. // Phys. Rev. D, 2011. - Vol.84. - P.054010.
- [145] Milstein A.I., Sushkov O.P. Effective field theories and spin-wave excitations in helical magnets. // Phys. Rev. B, 2011. - Vol.84, N19. - P.195138-1-13.
- [146] A.S. Rudenko. $K^0_{13\gamma}$ decays: branching ratios and T-odd momenta correlations. // Phys. Rev. D. - Vol.84. - P.016001.

- [147] I.B. Khriplovich, A.S. Rudenko. Can CP-violation be observed in heavy-ion collisions?. // *Can. J. Phys.*, 2011. - Vol.89. - P.63-64.
- [148] А.С. Руденко, И.Б. Хриплович. Снова к распаду $K_{13\gamma}^+$: относительная ширина и Т-нечётные импульсные корреляции. // *ЯФ*, 2011. - т.74, №8, С.1243-1251. [*Phys. Atom. Nucl.*, 2011. - Vol.74, N8. - P.1214-1222].
- [149] V. M. Khatsymovsky. Path integral on the extreme field configurations. // *Int. J. Mod. Phys. A*, 2011. - Vol.26, N1. - P.135-148.
- [150] Khatsymovsky V.M. Attributing sense to some integrals in Regge calculus. // *J. Math. Phys.*, 2011. - Vol.52, N2. - P.022502-1-14.
- [151] Khatsymovsky V.M. Gravity action on the rapidly varying metrics. // *Gen. Rel. Grav.*, 2011. - V.43, N11. - P.3127-3138.
- [152] Valentin V. Sokolov, Oleg V. Zhirov, Yaroslav A. Kharkov. Classical versus quantum dynamical chaos: sensitivity to external perturbations, stability and reversibility. // *World Scientific*, 2011. - P.59-76.
- [153] Grozin A.G. Integration by parts: An introduction. // *Int. J. Mod. Phys. A*, 2011. - Vol.26. - P.2807-2854.
- [154] Grozin A.G., Hörschle M., Hoff J., Steinhauser M. Simultaneous decoupling of bottom and charm quarks. // *J. High Energy Phys.*, 2011. - Vol.09. - P.066.
- [155] Strakhovenko V.M. Coulomb effects in the spin-dependent contribution to the intra-beam scattering rate. // *Phys. Rev. ST. Accel. Beams*, 2011, Vol.14. - P.012803.
- [156] Katkov V.M. Pair photoproduction in a constant and homogeneous electromagnetic field. // *Nuovo Cimento C*, 2011. - Vol.34, N4. - P.1-7.
- [157] Fadin V.S. and Lipatov L.N. BFKL equation for the adjoint representation of the gauge group in the next-to-leading approximation at $N=4$ SUSY. // *Phys. Lett. B*, 2012. - Vol.706. - P.470-476. [arXiv:1111.0782 [[hep-th]].
- [158] Fadin V.S., Fiore R., Grabovsky A.V. and Papa A. Connection between complete and forms of gauge invariant operators. // *Nucl. Phys. B*, 2012. - Vol.856. - P.111-124. [arXiv:1109.6634 [[hep-th]].
- [159] Fadin V.S., Fiore R., Grabovsky A.V. and Papa A. Quasi-conformal shape of the BFKL kernel and impact factors for scattering of colourless particles. // *AIP Conf. Proc.*, 2011. - Vol.1350. - P.224-227.
- [160] Козлов М.Г., Резниченко А.В., Фадин В.С. Проверка условия реджезации глюона в следующем за главным порядке. Кварковая часть, // *ЯФ*, 2011. - Т.74, N5. - С.784-796. [*Phys. Atom. Nucl.*, 2011. - Vol.74. - P.758-770]. [*Phys. Atom. Nucl.*, 2011. - Vol.74. - P.758-770].
- [161] Lee R. and Smirnov V. Analytic epsilon expansions of master integrals corresponding to massless three-loop form factors and three-loop $g-2$ up to four-loop transcendentality weight. // *JHEP*, 2011. - Vol.1102. - P.102. [arXiv: 1010.1334].
- [162] Lee R. and Terekhov I. Application of the {DRA} method to the calculation of the four-loop {QED}-type tadpoles. // *JHEP*, 2011. - Vol.1101. - P.068. [arXiv: 1010.6117].
- [163] Lee R.N., Smirnov A.V. and Smirnov V.A. Master integrals for four-loop massless propagators up to transcendentality weight twelve. // *Nucl. Phys. B*, 2011. - Vol.856. - P.95-110. [arXiv: 1108.0732].
- [164] Lee R.N., Smirnov A.V., Smirnov V.A. On epsilon expansions of four-loop non-planar massless propagator diagrams. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - Vol.71, N8. - P.1707. [arXiv: 1103.3409].
- [165] Zhirov O.V., Pikovskiy A.S., Shepelyansky D.L. Quantum vacuum of strongly nonlinear lattices. // *Phys. Rev. E*, 2011. - Vol.83, N1. - P.016202-1-7.
- [166] Zhirov O.V., Shepelyansky D.L. Wigner crystal in snaked nanochannels. // *Eur Phys.J. B*, 2011. - Vol.82, P.63-67.
- [167] Stibunov V.N., Barkov L.M., Dmitriev V.F., Fix A.I., Gauzshtein V.V., Loginov A.Yu., Levchuk M.I., Mishnev S.I., Nikolenko D.M., Osipov A.V., Rachek I.A., Sadykov R.S., Shestakov Yu.V., Sidorov A.A., Toporkov D.K., Zevakov S.A. Tensor analyzing power component T_{21} of a π^- -meson photoproduction on a deuteron. // *Journal of Physics: Conference Series*. 2011. - N.295. - P.012115.
- [168] Барков Л.М., Гаузштейн В.В., Дмитриев В.Ф., Дусаев Р.Р., Зеваков С.А., Логинов А.Ю., Мишнев С.И., Николенко Д.М., Осипов А.В., Рачек И.А., Садыков Р.Ш., Сидоров А.А., Стибунов В.Н., Топорков Д.К., Фикс А.И., Шестаков Ю.В. Исследование реакции $\gamma d \rightarrow p p \pi^-$ при больших импульсах протонов. // *Известия вузов. Физика*, 2011. - т.54. - N11/2. - С.4-7.
- [169] Гаузштейн В.В., Зеваков С.А., Логинов А.Ю., Николенко Д.М., Рачек И.А., Садыков Р.Ш., Сидоров А.А., Стибунов В.Н., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В. Измерение компонент тензорной анализирующей способности реакции фотообразования пи-минус мезонов на дейтронах. // *Известия вузов. Физика*, 2011. - т.54. - N11/2. - С.7-13.

- [170] Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for new phenomena in final states with large jet multiplicities and missing transverse momentum using $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector. // IHEP, 2011. - Vol.1111. - P.099.
- [171] Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for massive colored scalars in four-jet final states in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector. // Eur. Phys. J. C, 2011. - Vol.71. - P.1846. [arxiv.org 1109.6833].
- [172] Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Measurement of the inclusive and dijet cross sections of b-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // Eur. Phys. J. C, 2011. - Vol.71. - P.1846. [arxiv.org 1109.6833].
- [173] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for the Standard Model Higgs boson in the decay channel $H \rightarrow ZZ/\text{sb} (*) \rightarrow 4 l$ with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B, 2011. - V.705, N5. - P.435-451. [arxiv.org 1109.5945].
- [174] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the fragmentation function and transverse profile in proton-proton collisions at a center-of-mass energy of 7 TeV with the ATLAS detector. // Eur. Phys. J. C, 2011. - Vol.71, N11. - P.1795. [arxiv.org 1109.5816].
- [175] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for the higgs boson in the $H \rightarrow WW \rightarrow l \nu jj$ decay channel in pp collisions at radical $s = 7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.107, N23. - P.231801-1-18.
- [176] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for a Standard Model Higgs boson in the $H \rightarrow ZZ \rightarrow l+l-\nu$ decay channel with the ATLAS detector. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.107. - P.221802. [arxiv.org 1109.3357].
- [177] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for a heavy neutral particle decaying into an electron and a muon using 1 fb-1 of ATLAS data. // Eur. Phys. J. C, 2011. - Vol.71. - P.1809. [arxiv.org 1109.3089].
- [178] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for the Standard Model Higgs boson in the two photon decay channel with the ATLAS detector at the LHC. // Phys. Lett. B, 2011. - V.705, N5. - P.452-470. [arxiv.org 1108.5895].
- [179] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the Z to tau tau cross section with the ATLAS detector. // Phys. Rev. D, 2011. - Vol.84, P.112006, 16p.
- [180] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for dilepton resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.107. -P272002, 5p. [arxiv.org 1108.1582].
- [181] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G.,

- Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for a heavy gauge boson decaying to a charged lepton and a neutrino in 1 fb^{-1} of pp collisions radical $s = 7 \text{ TeV}$ using the ATLAS detector. // *Phys. Lett. B*, 2011. - V.705, N1/2. - P.28-46. [arxiv.org 1108.1316].
- [182] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Inclusive search for same-sign dilepton signatures in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. // *JHEP*, 2011. - Vol.1110. - P.107, 21p. [arxiv.org 1108.0366].
- [183] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the inclusive isolated prompt photon cross section in collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector using 35 pb-1. // *Phys. Lett. B*, 2011. - Vol.706. - P.150-167. [arxiv.org 1108.0253].
- [184] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for neutral MSSM Higgs boson decaying to $\tau^+\tau^-$ pairs in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS experiment. // *Phys. Lett. B*, 2011. - Vol.705. - P.174-192, 8p. [arxiv.org 1107.5003].
- [185] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Properties of jets measured from tracks in proton-proton collisions at center-of-mass energy radical $s = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. D*, 2011. - Vol.84. - P.054001-1- 27. [arxiv.org 1107.3311].
- [186] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the transverse momentum distribution of Z/γ^* bosons in proton-proton collisions at radical $s = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. // *Phys. Lett. B*, 2011. - V.705, N5. - P.415-434. [arxiv.org 1107.2381].
- [187] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of multi-jet cross sections in proton-proton collisions at a 7 TeV center-of-mass energy. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - V.71, N11. - P.1763 (27p). [arxiv.org 1107.2092].
- [188] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of dijet production with a veto on additional central jet activity in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ using the ATLAS detector. // *JHEP*, 2011. - Vol.1109. - P. 053, 17p. [arxiv.org 1107.1641].
- [189] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for diphoton events with large missing transverse energy with 36 pb^{-1} of 7 TeV proton-proton collision data. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - Vol.71, N10. - P.1744 (21p.).
- [190] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for new phenomena with the monojet and missing transverse momentum signature using the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ proton-proton collisions. // *Phys. Lett. B*, 2011. - Vol.705. - P.294-312, 7p. [arxiv.org 1106.5327].
- [191] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the Upsilon(1S) production cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ in ATLAS. // *Phys. Lett. B*, 2011. - Vol.705. - P.9-27, 24p. [arxiv.org 1106.5325].
- [192] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for heavy long-lived charged particles with the ATLAS detector in pp collisions at radical $s = 7 \text{ TeV}$. // *Phys. Lett. B*, 2011. - Vol.703, N4. - P.428-446. [arxiv.org 1106.4495].

- [193] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Kazanin V.A., Korol A., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Limits on the production of the standart model Higgs boson in pp collisions at radical $s = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - Vol.71, N9. - P.1728 (30 p.). [arxiv.org 1106.2748].
- [194] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Kazanin V.A., Korol A., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of $W\gamma$ and $Z\gamma$ production in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS Detector. // *JHEP*, 2011. - Vol.1109. - P.072, 25p. [arxiv.org 1106.1592].
- [195] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the $W^+ W^-$ cross section in radical $s=7$ TeV pp collisions with ATLAS. // *Phys. Rev. Lett.*, 2011. - Vol.107, N4. - P.041802-1-18. [arxiv.org 1104.5225].
- [196] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for pair production of first or second generation leptoquarks in proton-proton collisions at radical $s = 7$ TeV using the ATLAS detector at the LHC. // *Phys. Rev. D*, 2011. - Vol.83, N11. - P.112006-1-24. [arxiv.org 1104.4481].
- [197] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for contact interactions in dimuon events from pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. D*, 2011. - Vol.84. - P.011101, 18p. [arxiv.org 1104.4398].
- [198] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the differential cross-sections of inclusive, prompt and non-prompt J/ψ production in proton-proton collisions at radical $s = 7$ TeV. // *Nucl. Phys. B*, 2011. - V.850, N1/3. - P.387-444. [arxiv.org 1104.3038].
- [199] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the inelastic proton-proton cross-section at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Nature Commun.*, 2011. - Vol.2. - P.463, 6p. [arxiv.org 1104.0326].
- [200] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for supersymmetric particles in events with lepton pairs and large missing transverse momentum in radical $s=7$ TeV proton-proton collisions with the ATLAS experiment. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - V.71, N7. - P.1682 (19p). [arxiv.org 1103.6214].
- [201] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaitsev A., et al. Search for an excess of events with an identical flavour lepton pair and significant missing transverse momentum in radical $s=7$ TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - V.71, N7. - P.1647 (17p). [arxiv.org 1103.6208].
- [202] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for high mass dilepton resonances in pp collisions at radical $s = 7$ TeV with the ATLAS experiment. // *Phys. Lett. B*, 2011. - V.700, N3/4. - P.163-180. [arxiv.org 1103.6218].
- [203] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for a heavy particle decaying into an electron and a muon with the ATLAS detector in radical $s=7$ TeV pp collisions at the LHC. // *Phys. Rev. Lett.*, 2011. - V.106, N25. - P.251801-1-18. [arxiv.org 1103.5559].
- [204] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G.,

- Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for supersymmetry in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV in final states with missing transverse momentum and b-jets. // *Phys. Lett. B*, 2011. - Vol.701. - P.398-416, (9p). [arxiv.org 1103.4344].
- [205] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. A search for new physics in dijet mass and angular distributions in pp collisions at radical $s = 7$ TeV measured with the ATLAS detector. // *New Journal of Physics*, 2011. - V.13. - P.053044 (44p). [arxiv.org 1103.3864].
- [206] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the W charge asymmetry in the $W \rightarrow \mu \nu$ decay mode in pp collisions at radical $s = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Lett. B*, 2011. - V.701, N1. - P.31-49. [arxiv.org 1103.2929].
- [207] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for stable hadronising squarks and gluinos with the ATLAS experiment at the LHC. // *Phys. Lett. B*, 2011. - V.701, N1. - P.1-19. [arxiv.org 1103.1984].
- [208] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A. e.a. Measurements of underlying-event properties using neutral and charged particles in pp collisions at radical $s = 900$ GeV and radical $s = 7$ TeV the ATLAS detector at the LHC. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - V.71, N5. - P.1636 (24p). [arxiv.org 1103.1816].
- [209] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for high-mass states with one lepton plus missing transverse momentum in proton-proton collisions at radical $s = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Lett. B*, 2011. - Vol.701, N1. - P.50-69. [arxiv.org 1103.1391].
- [210] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for squarks and gluinos using final with jets and missing transverse momentum with the ATLAS detector radical $s = 7$ TeV proton-proton collisions. // *Phys. Lett. B*, 2011. - V.701, N2. - P.186-203. [arxiv.org 1102.5290].
- [211] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of dijet azimuthal decorrelations in pp collisions at radical $s=7$ TeV. // *Phys. Rev. Lett.*, 2011. - V.106, N17. - P.172002-1-17. [arxiv.org 1102.2696].
- [212] 166. Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for supersymmetry using final states with one lepton, jets, and missing transverse momentum with the ATLAS detector in radical $s=7$ TeV pp collisions. // *Phys. Rev. Lett.*, 2011. - V.106, N13. - P.131802-1-19. [arxiv.org 1102.2357].
- [213] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for massive long-lived highly ionising particles with the ATLAS detector at the LHC. // *Phys. Lett. B*, 2011. - V.698, N5. - P.353-370. [arxiv.org 1102.0459].
- [214] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Luminosity determination in pp collisions at radical $s=7$ TeV using the ATLAS detector at the LHC. // *Eur. Phys. J. C*, 2011. - V.71, N4. - P.1630 (37 p.); [arxiv.org 1101.2185].
- [215] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the production cross section for W-bosons in association with jets in pp collisions at radical $s = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Lett. B*, 2011. - V.698, N5. - P.325-345. [arxiv.org 1012.5382].
- [216] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A.A.,

- Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for diphoton events with large missing transverse energy in 7 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector. // Phys. Rev. Lett., 2011. - V.106, N12. - P.121803-19. [arxiv.org 1012.4272].
- [217] Maslennikov A.L., Skovpen K., Tikhonov Yu., et al. Search for heavy Majorana neutrino and WR in dilepton plus jets events with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. // ATLAS Conference Note ATLAS-CONF-2011-064. [http://cdsweb.cern.ch/record/1337072].
- [218] Ачасов М.Н., Белобородов К.И., Бердюгин А.В., Богданчиков А.Г., Букин Д.А., Васильев А.В., Голубев В.Б., Димова Т.В., Дружинин В.П., Кардапольцев Л.В., Кооп И.А., Король А.А., Кошуба С.В., Пахтусова Е.В., Средняков С.И., Силагадзе З.К., Скринский А.Н., Харламов А.Г., Шатунов Ю.М. Поиск процессов $e^+e^- \rightarrow f_0(600)\gamma, f_0(980)\gamma, f_0(1350)\gamma$, и $f_2(1270)\gamma$ в области энергии от 1.05 до 1.38 ГэВ. // ЖЭТФ, 2011. - том 140. - вып.1(7). - С.87-91. [J. Exp. Theor. Phys., 2011. - Vol.113. - P.75-79].
- [219] Ачасов М.Н., Белобородов К.И., Бердюгин А.В., Богданчиков А.Г., Букин Д.А., Васильев А.В., Голубев В.Б., Димова Т.В., Дружинин В.П., Кооп И.А., Король А.А., Кошуба С.В., Пахтусова Е.В., Средняков С.И., Силагадзе З.К., Скринский А.Н., Шатунов Ю.М. Поиск процесса $e^+e^- \rightarrow K^\pm K_S^0 \pi^\pm$ на e^+e^- -коллайдере ВЭПП-2М. // ЖЭТФ, 2011. - Т.140, N3(9). - С.497-498. [J. Exp. Theor. Phys., 2011. - Vol.113. - P.433-434].
- [220] Ачасов М.Н., Барняков А.Ю., Белобородов К.И., Бердюгин А.В., Беркаев Д.Е., Богданчиков А.Г., Ботов А.А., Букин Д.А., Васильев А.В., Голубев В.Б., Димова Т.В., Дружинин В.П., Землянский И.М., Кардапольцев Л.В., Коврижин Д.П., Кооп И.А., Король А.А., Кошуба С.В., Мартин К.А., Образовский А.Е., Пахтусова Е.В., Роговский Ю.А., Романов А.Л., Средняков С.И., Силагадзе З.К., Сквепень К.Ю., Скринский А.Н., Сурин И.К., Тихонов Ю.А., Усов Ю.В., Харламов А.Г., Шатунов П.Ю., Шатунов Ю.М., Шварц Д.Б., Штоль Д.А. Измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ в области энергии 1.1-1.9 ГэВ. // Письма в ЖЭТФ, 2011. - N10. - С.796-799. [JETP Lett., 2011. - Vol.94, N10. - P.734-737].
- [221] Харламов А.Г. Измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$. // LAP LAMBERT Academic Publishing (2011-09-19) (2011) ISBN: 978-3-8443-5574-1.
- [222] V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.Yu. Basok, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. KarnaeV, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, A.I. Milstein, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, D.N. Shatilov, G.E. Pospelov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Measurement of $B(J/\psi \rightarrow \eta_c \gamma)$. // Intern. Journal of Modern Physics: Conference Series, 2011, Vol.2. - P.188-192.
- [223] Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Basok I.Yu., Blinov V.E., Bobrovnikov V.S., Borodenko A.A., Buzykaev A.R., Gulevich V.V., Danilyuk A.F., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Kuyanov I.A., Onuchin A.P., Ovtin I.V. Focusing Aerogel RICH for particle identification and momentum measurement. // NIM A, 2011. - Vol.639. - P.290-293.
- [224] Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Golubev V.B., Gulevich V.V., Danilyuk A.F., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Martin K.A., Onuchin A.P., Porosev V.V., Serednyakov S.I. Status of aerogel production in Novosibirsk. // NIM A, 2011. - Vol.639. - P.225-226.
- [225] Adam J., Grigoriev D.N., Ignatov E.V., Popov A.S., Khazin B.I., Yudin Yu.V., et al. (MEG Collab.). Calibration and monitoring of the MEG experiment by a proton beam from a Cockcroft-Walton accelerator. // NIM, 2011. - Vol. A641. - P.19-32.
- [226] Adam J., Grigoriev D.N., Ignatov E., Khazin B.I., Popov A., Yudin Yu.V., et al. (MEG Collab.). New limit on the lepton-flavor-violating decay $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.107, N17. - P.171801-1-5.
- [227] Воронин К.А., Григорьев Д.Н., Украинцев Ю.Г. Эффективный досмотр пассажира на транспорте. // Airports International, 2011. - вып. N7 (36). - С.37-39.
- [228] Воронин К.А., Григорьев Д.Н., Украинцев Ю.Г. Бесконтактный досмотр пассажира на транспорте. // Аэропорты. Прогрессивные технологии, 2011. - N3 (52). - С.12-15.
- [229] Неустроев В.А., Украинцев Ю.Г. Современные подходы и методика диагностики анатомически узкого таза. Программы моделирования родов. // Медицинский бизнес, 2011. - выпуск N5 (205). - С.44-45.

- [230] Бару С.Е., Талышев А.А., Тельнов В.И., Украинцев Ю.Г., Усов Ю.В., Шаманаева Л.И., Шамов А.Г. // Триггер детектора КЕДР. // ПТЭ, 2011. - N3. - С.46-61. [Instruments and Experimental Techniques, 2011. - Vol.54, N3. - P.335-349.]
- [231] Babichev E.A., Baru S.E., Grigoriev D.N., Groshev V.R., Leonov V.V., Papushev P.A., Porosev V.V., Savinov G.A., Shayakhmetov V.R., Shekhtman L.I., Tikhonov Yu.A., Ukraintsev Yu.G., Yurchenko Yu.B. High-resolution detectors for medical applications synchrotron radiation research. // NIM A, 2011. - Vol.628, N1. - P.440-443.
- [232] Rachek I.A., Arenhovel H., Barkov L.M., Belostotsky S.L., Dmitriev V.F., Gauzshteyn V.V., Gilman R., Gramolin A.V., Holt R.J., Lazarenko B.A., Loginov A.Yu., Mishnev S.I., Nelyubin V.V., Nikolenko D.M., Osipov A.V., Potterveld D.H., Sadykov R.Sh., Shekhtman L.I., Shestakov Yu.V., Sidorov A.A., Stibunov V.N., Toporkov D.K., De Vries H., Zevakov S.A. Photoreactions with tensor-polarized deuterium target at VEPP-3. // Journal of Physics: Conference Series, 2011. - Vol.295. - P.012106.
- [233] Aulchenko V.M., Beloborodova O.L., Bobrov A.V., Bondar A.E., Kudryavtsev V.N., Shamov A.G., Shekhtman L.I., Zhilich V.N., Zhulanov V.V. Operation of the triple-GEM detectors in the tagging system of the KEDR experiment on the VEPP-4M collider [Electronic resource]. // Journal of Instrumentation, 2011. - Vol.6. - P.07001.
- [234] Титов В.М., Прууэл Э.Р., Тен К.А., Лукьянчиков Л.А., Мержиевский Л.А., Толочко Б.П., Жуланов В.В., Шехтман Л.И. Опыт применения синхротронного излучения для исследования детонационных процессов. // Физика горения и взрыва, 2011, N6. - С.3-16.
- [235] Бару С.Е. Современные средства и методы обеспечения безопасности на транспорте и их соответствие новым вызовам терроризма. // Airports International, 2011, N2. - С.86-87.
- [236] Бару С.Е. Безопасность на авиатранспорте – новые вызовы и новые подходы. // Airports International, 2011, N2. - С.22-25.
- [237] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). First observation of $B_s \rightarrow D^{*+}_{s2} X \mu \nu$ decays. // Phys. Lett. B, 2001. - Vol.698. - P.14.
- [238] R. Aaij., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, A. Poluektov, L. Shekhtman, et al. (By LHCb Collab.). First observation of $B_s \rightarrow J/\psi f_0(980)$ decays. // Phys. Lett. B, 2011. - Vol.698. - P.115.
- [239] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Measurement of J/ψ production in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // Eur. Phys. J. C, 2011. -Vol.71. - P.1645.
- [240] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Determination of f_s/f_q for 7 TeV pp collisions and measurement of the $B^0 \rightarrow D^- K^+$ branching fraction. // Phys. Rev. Lett., 2011. - V.107, N21. - P.211801-1-7.
- [241] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Measurement of V^0 production ratios in pp collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV. B. // JHEP, 2011. - Vol.1108. - P.034.
- [242] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Measurement of the inclusive ϕ cross-section in pp collisions at radical $\sqrt{s} = 7$ TeV. // Phys. Lett. B, 2011. - V.701, N3. - P.267-273.
- [243] Aaij R., Bondar A., Bobrov A., Eidelman S., et al. (By LHCb Collab.). Measurements of the branching fractions for $B_s \rightarrow D_s / \pi \pi \pi$ and $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ \pi \pi \pi$. // Phys. Rev. D, 2011. - V.84, N9. - P.092001-1-19.
- [244] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). First observation of the decay $B_s^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$ and a measurement of the ratio of branching fractions $\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow D^0 K^{*0})/\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^0 \rho^0)$. // Phys. Lett. B, 2011. - Vol.706. - P.32.
- [245] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Search for CP violation in $D \rightarrow K^- K^+ \pi^+$ decays. // Phys. Rev. D, 2011. - Vol.84, N11. - P.112008-1-13. [arXiv:1110.3970].
- [246] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Search for the rare decays $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ and $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$. // Phys. Lett. B, 2011. - Vol.699, N5. - P.330-340. - [arXiv:1112.1600].
- [247] Skorodko T., Shwartz B., et al. (CELSIUS-WASA Collab.). The $pp \rightarrow pp \pi^0 \pi^0$ reaction and its limiting case, fusion to quasi-bound He-2, in search of the ABC effect. // Int. J. Mod. Phys. A, 2011. - Vol.26, 702 (2011).
- [248] Skorodko T., Shwartz B., et al. (CELSIUS-WASA Collab.). Exclusive measurement of the $pp \rightarrow nn \pi^+ \pi^-$ reaction at 1.1 GeV. // Eur. Phys. J. A, 2011. - Vol.47. - P.108.
- [249] Shwartz B.A. Measurement of hadronic cross sections at VEPP-2M and VEPP-2000. // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl., 2011. - Vol.218. - P.219-224.

- [250] Banerjee S., Shwartz B., et al. Status report from Tau subgroup of the HFAG. // Nucl. Phys. Proc. Suppl., 2011. - Vol.218. - P.329.
- [251] Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Shemyakina E., Sokolov A., Akimov D., Alexandrov I., Breskin A. // On the low-temperature performances of THGEM and THGEM/G-APD multipliers in gaseous and two-phase Xe. [Electronic resource]. // Journal of Instrumentation, 2011. - Vol.6. - P.07008.
- [252] Buzulutskov A., Bondar A., Grebenuk A. Infrared scintillation yield in gaseous and liquid argon. // EPL. - 2011. - Vol.94. - P.52001.
- [253] Anashin V.V., Aulchenko V.M., Baldin E.M., Barladyan A.K., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Baru S.E., Basok I.Yu., Bedny I.B., Beloborodova O.L., Blinov A.E., Blinov V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bogomyagkov A.V., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Eidelman S.I., Glukhovchenko Yu.M., Gulevich V.V., Gusev D.V., Karnaev S.E., Karpov G.V., Karpov S.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kononov S.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kulikov V.F., Kuper E.A., Kurkin G.Ya., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Medvedko A.S., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Morozov I.I., Muchnoi N.Yu., Neufeld V.V., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Orlov I.O., Osipov A.A., Peleganchuk S.V., Petrov V.V., Piminov P.A., Pivovarov S.G., Poluektov A.O., Pospelov G.E., Prisekin V.G., Ruban A.A., Sandyrev V.K., Savinov G.A., Shamov A.G., Shatilov D.N., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skovpen Yu.I., Skrinsky A.N., Smaluk V.V., Sokolov A.V., Sukharev A.M., Starostina E.V., Talyshev A.A., Tayursky V.A., Telnov V.I., Tikhonov Yu.A., Todyshev K.Yu., Tumaikin G.M., Usov Yu.V., Vorobiov A.I., Yushkov A.N., Zhilich V.N., Zhulanov V., Zhuravlev A.N. Tau lepton mass determination at KEDR. // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl., 2011.- Vol. 218. - P.155-159.
- [254] Todyshev K.Yu., Anashin V.V., Aulchenko V.M., Baldin E.M., Barladyan A.K., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Baru S.E., Basok I.Yu., Beloborodova O.L., Blinov A.E., Blinov V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bogomyagkov A.V., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Eidelman S.I., Grigoriev D.N., Glukhovchenko Yu.M., Gulevich V.V., Gusev D.V., Karnaev S.E., Karpov G.V., Karpov S.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kolmogorov V.V., Kononov S.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kudryavtsev V.N., Kulikov V.F., Kurkin G.Ya., Kuper E.A., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Medvedko A.S., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Morozov I.I., Muchnoi N.Yu., Neufeld V.V., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Orlov I.O., Osipov A.A., Peleganchuk S.V., Pivovarov S.G., Piminov P.A., Petrov V.V., Poluektov A.O., Prisekin V.G., Ruban A.A., Sandyrev V.K., Savinov G.A., Shamov A.G., Shatilov D.N., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skrinsky A.N., Smalyuk V.V., Sokolov A.V., Sukharev A.M., Starostina E.V., Talyshev A.A., Tayursky V.A., Telnov V.I., Tikhonov Yu.A., Tumaikin G.M., Usov Yu.V., Vorobiov A.I., Yushkov A.N., Zhilich V.N., Zhulanov V.V., Zhuravlev A.N. Search for narrow resonances in e^+e^- annihilation between 1.85 and 3.1 GeV with the KEDR detector. // Phys. Lett. B, 2011. - Vol.703, N5. - P.543-546.
- [255] Eidelman S.I. Tau lepton lifetime determination at Belle. // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl., 2011.- Vol.218. - P.172-177.
- [256] Cherepanov V., Eidelman S. Decays $\tau \rightarrow \eta(\eta') \pi \pi^0 \nu_\tau$ and CVC. // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl., 2011. - Vol.218. - P.231-236.
- [257] Matvienko D.V., Kuzmin A.S., Eidelman S.I. A model of $B \rightarrow D^+ \omega \pi$ decay. // JHEP, 2011. - 1109. - P.129.
- [258] Druzhinin V.P., Eidelman S.I., Serednyakov S.I., Solodov E.P. Hadron production via e^+e^- collisions with initial state radiation. // Rev. Mod. Phys., 2011. - Vol.83. - P.1545.
- [259] Brambilla N., Eidelman S., Levichev E., et al. Heavy quarkonium: progress, puzzles, and opportunities. // Eur. Phys. J. C, 2011. - Vol.71, N2. - P.1534 (178p.).
- [260] Aushev T., Aulchenko V., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Study of the decays $B \rightarrow D_{s1}(2536) + D^{(*)}$. // Phys. Rev. D, 2011. - Vol.83. - P.051102, Erratum - Phys. Rev. D, 2011. - Vol.83. - P.059902.
- [261] Bhardwaj V., Aulchenko V., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Observation of $X(3872) \rightarrow J/\psi \gamma$ and search for $X(3872) \rightarrow \psi' \gamma$ in B decays. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.107. - P.091803.
- [262] M. Bischofberger, Aulchenko V., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. ((Belle Collab.)). Search for CP violation in $\tau \rightarrow K_s^0 \pi \nu_\tau$ decays at Belle. // Phys. Rev. Lett., 2011. - Vol.107. - P.131801.
- [263] Vinokurova A., Aulchenko V., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A.,

- Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Study of $B^{\pm} \rightarrow K^{\pm}(K_s^0 K\pi)^0$ decay and determination of η_c and $\eta_c(2S)$ parameters. // *Phys. Lett. B*, 2011. - Vol.706. - P.139.
- [264] Диканский Н.С. и Пестриков Д.В. Когерентные колебания встречных сгустков. // Учебное пособие: РИЦ НГУ, 2011, 9 п.л., Новосибирск.
- [265] Pestrikov D.V. Phase averaging of the coherent head-on beam-beam instability. // *NIM in Phys. Res., A*, 2011. - Vol.640. - P.19-28.
- [266] Barzakh A. E., Lhersonneau G., Batist L. Kh., Alyakrinskiy O., et al. Secondary neutrons as the main source of neutron-rich fission products in the bombardment of a thick U target by 1 GeV protons. // *European Physical Journal A*, May 2011. - Vol.47, Issue 5, N70. DOI: 10.1140/epja/i2011-11070-y.
- [267] Бак П.А., Батраков А.М., Кадыров Р.А., Логачёв П.В., Павленко А.В., Панов А.Н., Сазанский В.Я., Фатькин Г.А. Система управления линейным индукционным ускорителем рентгенографического комплекса: структура, аппаратные средства, результаты опытной эксплуатации. // *Автометрия*. - 2011. - Т.47, N3. - С.120-131.
- [268] Пархомчук В.В., Растигеев С.А. Ускорительный масс-спектрометр ЦКП СО РАН, Новосибирск. // *Поверхность: рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования*, 2011. - N11. - С.49-53.
- [269] Пархомчук В.В., Растигеев С.А. Ускорительный масс-спектрометр ЦКП СО РАН, Новосибирск. // *Поверхность: рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования*, 2011. - N11. [<http://www.springerlink.com/content/g171063r56ql7p11/>].
- [270] Meng Lingjie, Ma Xinwen, Vasily Parkhomchuk, Yang Xiaodong, Mao Lijun, Li Jie, Ma Xiaoming, Yan Tailai, Vladimir Reva, Xia Jiawen, Yuan Youjin, Xu Hushan, Yang Jiancheng Test of detuning system for dielectronic recombination experiment at the CSRm. // 2011 (sended at NIM).
- [271] Volkov V., (BINP, Novosibirsk, Russia), Knobloch J. and Matveenko A. (Helmholtz-Zentrum, Berlin, Germany). Beam breakup instability suppression in multicell superconducting RF guns. // *Physical Review. Special Topics: Accelerators and Beams*, 2011. - Vol.14. - P.054202.
- [272] Caldwell A, Lotov K, Pukhov A. and Xia G. Plasma wakefield excitation with a 24 GeV proton beam. // *Plasma Phys. Control. Fusion*, 2011. - Vol.53, N1. - P.014003.
- [273] K.V. Lotov. Controlled self-modulation of high energy beams in a plasma. // *Phys. Plasmas*, 2011. - Vol.18, N2. - P.024501-1-4.
- [274] Arakcheev A.S., Lotov K.V. Formation of Small Dust Particles by Brittle Destruction. // *Fusion Science & Technology*, 2011. - Vol.59, N1T. - P.265-267.
- [275] Pukhov A., Kumar N., Tuckmantel T., Upadhyay A., Lotov K., Muggli P., Khudik V., Siemon C., Shvets G. Phase velocity and particle injection in a self-modulated proton-driven plasma wakefield accelerator. // *Phys. Rev. Lett.*, 2011. - Vol.107, N14. - P.145003-1-5.
- [276] Caldwell A., Lotov K.V. Plasma wakefield acceleration with a modulated proton bunch. // *Phys. Plasmas*, 2011. - Vol.18, N10. - P.103101-1-9.
- [277] Котельников И.Ф., Бородин А.В., Шкуринов А.П. Многофотонная ионизация атомов двухцветным лазерным импульсом. // *ЖЭТФ*, 2011. - т.139, N6, P.1081-1087. [*JETP*, 2011. - Vol.112. - N6. - P.946-951].
- [278] Kotelnikov I.A., Equilibrium of high- β plasma with sloshing ions above the mirror instability threshold. // *Fusion Science and Technology*, January 2011. - Vol.59, N1T. - P.47-50.
- [279] Prikhodko V.V., Bagryansky P.A., Beklemishev A.D., Kolesnikov E.Yu., Kotelnikov I.A., Maximov V.V., Pushkareva A.H., Soldatkina E.I., Tsidulko Yu.A., Zaytsev K.V. Low-Frequency oscillations of plasma in the gas dynamic trap. // *Fusion Science and Technology*, 2011. - Vol.59, N1T. - P.9-16,
- [280] Dubin D.H.E., Tsidulko Yu.A. Neoclassical transport and plasma mode damping caused by collisionless scattering across an asymmetric separatrix. // *Physics of Plasmas*, 2011. - V.18, N6. - P.062114-1-17.
- [281] Tsidulko Yu.A., Hilsabeck T.J., O'Neil T.M. Particle fluxes through the separatrix in the trapped particle diocotron mode. // *Physics of Plasmas*, 2011. - V.18, N8. - P.084505-1-4.
- [282] Aleynic V., Burdakov A., Davydenko V., Ivanov A., Kanygin V., Kuznetsov A., Makarov A., Sorokin I., Taskaev S. BINP accelerator based epithermal neutron source. // *Applied Radiation and Isotopes*, 2011. - V.69, N12. - P.1635-1638.
- [283] Aleynic V., Bayanov B., Burdakov A., Makarov A., Sinitsky S., Taskaev S. New technical solution for using the time-of-flight technique to measure neutron spectra. // *Applied Radiation and Isotopes*, 2011. - V.69, N12. - P.1639-1641.
- [284] Kandiev Ya., Kashaeva E., Malyshev G., Bayanov B., Taskaev S. Optimization of the target of an accelerator-driven neutron source through Monte Carlo numerical simulation of neutron and gamma transport by the PRIZMA code. // *Applied Radiation and Isotopes*, 2011. - N12. - P.1632-1634.

- [285] Таскаев С.Ю. ВИТА значит жизнь. // Наука из первых рук, 2011. - N4(40). - P. 88-95.
- [286] Davydenko V., Ivanov A., Kolmogorov A., Zelenski A. Production of high brightness H- beam by charge exchange of hydrogen atom beam in sodium jet. // AIP Conf. Proc., 2011. - Vol.1390. - P.393-400.
- [287] Zelenski A., Atoian G., Davydenko V., Ivanov A., Kolmogorov A., Ritter J., Steski D., Zubets V. The RHIC polarized source upgrade. // Journal of Physics: Conference Series, 2011. - Vol.295. - P.012147.
- [288] Chirkov A.Y., Ryzhkov S.V., Bagryansky P.A., Anikeev A.V. Plasma kinetics models for fusion systems based on the axially-symmetric mirror devices. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.39-42.
- [289] Akhmetov T.D., Ivanov A.A., Prikhodko V.V. Possible further steps for upgrading the GDT device. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.43-46.
- [290] Anikeev A.V., Bagryansky P.A., Chernoshtanov I.S., Korzhavina M.S., Prikhodko V.V., Tsidulko Y.A. Study of microinstabilities in anisotropic plasmoid of thermonuclear ions. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.104-107.
- [291] Solomakhin A.L., Bagryansky P.A., Beil W., Dreier H., Ivanenko S.V., Khilchenko A.D., Kovalenko Yu.V., Kvashnin A.N., Lambertz H.T., Lizunov A.A., Lvovskiy A.V., Savkin V.Ya. Measurement of plasma density in modern devices by dispersion interferometer. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.120-123.
- [292] Sidorov A.V., Bagryansky P.A., Beklemishev A.D., Izotov I.V., Prikhodko V.V., Razin S.V., Skalyga V.A., Zorin V.G. Non-equilibrium heavy gases plasma MHD-stabilization in axisymmetric mirror magnetic trap. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.112-115.
- [293] Anikeev A.V., Dagan R., Fischer U. Numerical of the fusion-fission hybrid system based on Gas Dynamic Trap for transmutation of radioactive wastes. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.162-165.
- [294] Anikeev A.V., Bagryansky P.A., Fischer U., Noack K., Tsidulko Y.A. The GDT based neutron source as a driven in a sub-critical burner of radioactive wastes. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.220-222.
- [295] Bagryansky P.A., Maximov V.V., Pinzhenin E.I., Prikhodko V.V. DD product yield in the GDT central cell. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.256-258.
- [296] Abdrashitov G.F., Abdrashitov A.G., Deichuli P.P., Donin A.S., Khilchenko A.D., Lizunov A.A., Moiseev D.V., Murakhtin S.V., Sorokin A.V., Zubarev P.V. Neutral beam system of the Gas Dynamic Trap. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.280-282.
- [297] Lvovskiy A.V., Solomakhin A.L. Line plasma density measurement in the Gas Dynamic Trap with dispersion interferometer. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.298-300.
- [298] Smirnov A., Krivenko A.S., Murakhtin S.V., Savkin V.Y., Korepanov S.A., Putvinski S. Neutral beam dump utilizing cathodic arc titanium evaporation. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.271-273.
- [299] Dreiser H., Bagryansky P., Baumgarten N., Biel W., Lambertz H.T., Lehnen M., Lizunov A., Solomakhin A. First results from the modular multi-channel dispersion interferometer at the TEXTOR tokamak. // Rev. Sci. Instrum., 2011. - V.82, N6. - P.063509-1-4.
- [300] Чирков А.Ю., Рыжков С.В., Багрянский П.А., Аникеев А.В. Термоядерные режимы аксиально-симметричной открытой системы с мощной инжекцией быстрых частиц. // Прикл. физика., 2011. - N5. - С.57-63.
- [301] Lizunov A.A., Den Hartog D.J., Donin A.S., Ivanov A.A., Prikhodko V.V. Note: multi-point measurement of [B] in the gas-dynamic trap with a spectral motional Stark effect diagnostic. // Rev. Sci. Instrum., 2011. - V.82, N8. - P.086105-1-3.
- [302] Burdakov A.V., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Beklemishev A.D., Ivanov A.A., Kotelnikov I.A., Kruglyakov E.P., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Sinitsky S.L., Timofeev I.V., Zhukov V.P. Concept of fusion reactor based on multiple-mirror trap. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.9-16.
- [303] Shoshin A.A., Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Chebotarev V.V., Garkusha I.E., Ivanov I.A., Kuklin K.N., Makarov M.A., Makhlai V.A., Marchenko A.K., Mekler K.I., Rovenskikh A.F., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Sinitsky S.L., Tereshin V.I. Plasma-surface interaction during iter type I ELMS: comparison of simulation with QSPA KH-50 and the GOL-3 facilities. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.57-60.
- [304] Kandaurov I., Astrelin V., Avrorov A., Burdakov A., Bykov P., Derevyankin G., Kapitonov V., Kurkuchekov V., Rovenskikh A., Sinitsky S., Trunev Yu., Yarovoy V. Submillisecond electron beam for plasma heating in multi-mirror trap GOL-3. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.67-69.
- [305] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F. Subterahertz emission at strong REB-plasma interaction in multimirror trap GOL-3. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.74-77.

- [306] Postupaev V.V., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Batkin V.I., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kuklin K.N., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Rovenskikh A.F., Shoshin A.A., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Sorokina N.V., Sudnikov A.V., Sulyaev Yu.S., Vyacheslavov L.N. Experiments with "THIN" electron beam at GOL-3. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.144-149.
- [307] Sudnikov A.V., Burdakov A.V., Ivanov I.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sulyaev Y.S. MHD activity in GOL-3 at the stage of plasma cooling. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.187-189.
- [308] Ivanov I.A., Burdakov A.V., Ivanenko V.G., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sudnikov A.V., Shoshin A.A., Shchudlo I.M. Stabilization of relativistic electron beam by dense plasma cloud in GOL-3 expander. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.196-198.
- [309] Polosatkin S., Belykh V., Davydenko V., Fiksel G., Ivanov A., Kapitonov V., Khilchenko A., Khilchenko V., Mishagin V., Tiunov M. Advanced neutral particle analyzer for fusion plasma diagnostics. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.259-261.
- [310] Davydenko V.I., Ivaniv A.A., Deichuli P.P., Belov V.P., Gorbovsky A.I., Mishagin V.V., Shikhovtsev I.V., Sorokin A.V., Stupishin A.V., Shulzhenko G.I., Fiksel G., Schweer B. Development of focused neutral beams with small angular divergence for plasma heating and diagnostics. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.128-131.
- [311] Shoshin A.A., Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Kuklin K.N., Ivanov I.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V. Structure modification of different graphite and glassy carbon surfaces under high power action by hydrogen plasma. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.268-270.
- [312] Sorokina N., Burdakov A., Makarov M., Mekler K., Polosatkin S., Postupaev V., Rovenskikh A., Sinitsky S., Stepanov V. Study of plasma on the GOL-3 facility by imaging VUV spectroscopy. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.286-288.
- [313] Popov S.S., Vyacheslavov L.N., Ivantsivskiy M., Burdakov A.V., Kasatov A.A., Polosatkin S.V., Postupaev V.V. Upgrading of Thomson scattering system for measurements of spatial dynamics of plasma heating in GOL-3. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.292-294.
- [314] Burmasov V.S., Boblylev V.B., Ivanov A.A., Ivanenko S.V., Kasatov A.A., Kasatov D.A., Kuklin K.N., Popov S.S., Puryga E.A., Rovenskikh A.F., Sklyarov V.F. CO₂ interferometer for GOL-3 multimirror trap. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.301-303.
- [315] Arzhannikov A.V., Makarov M.A., Sinitsky S.L., Stepanov V.D. Energy spectrum of electrons in flow from plasma column heated by REB at GOL-3 facility. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.304-306.
- [316] Postupaev V.V., Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kuklin K.N., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sudnikov A.V., Sulyaev Yu.S., Vyacheslavov L.N. Experiments with gradual-energy-growth electron beam at GOL-3. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.307-309.
- [317] Astrelin V., Burdakov A., Kandaurov I., Postupaev V., Sinitsky S., Timofeev I. Physical basis for the use of long pulse electron beam in multi-mirror trap. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.310 - 312.
- [318] Astrelin V.T., Burdakov A.V., Vshivkov V.A., Vshivkov K.V., Medvedev S.V., Shvab I.V., Yakunkin N.A. Numerical modeling of plasma dynamics in non-uniform magnetic field. // Fusion Sci. Technol., 2011. - V.59, N1T. - P.313-315.
- [319] Koop I.A., Logatchev P.V., Otboev A.V., Parkhomchuk V.V., Shatilov D.N., Shatunov P.Y., Shatunov Y.M., Shiyankov S.V., Shwartz D.B., Skrinsky A.N., et al., The electron-ion scattering experiment ELISe at the International Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR): A conceptual design study. // NIM A, 2011. - Vol.637. - P.60-76.
- [320] Голковский М.Г., Прозоренко П.С., Чакин И.К., Елисеев В.С., Бардаханов С.П. Получение нанопорошков различных материалов методом испарения исходного вещества с применением сфокусированного электронного пучка, выпущенного в среду с атмосферным давлением. // Известия высших учебных заведений. Физика, 2011. - Том 54, N1/2. - С.171-177.
- [321] Толочко Б.П., Антохин Е. И., Юхин Ю.М., Елисеев В.С., Голковский М.Г. Ляхов Н.З. Способ получения ультрадисперсного порошка висмута. // Патент RU 2426625 C1, заявка: 2010117096/02 от 29.04.2010.
- [322] Голковский М.Г., Чакин И.К., Прозоренко П.С., Батаев А.А., Батаев В.А., Журавина Т.В. Способ формирования антикоррозионного покрытия на титановых изделиях. // Получено положительное заключение по заявке № 2010128692/02(040721), дата подачи 09.07.2010.

- [323] M.G. Golkovsky, T.V. Zhuravina, I.A. Bataev, A.A. Bataev, S.V. Veselov, V.A. Bataev, E.A. Prikhodko. Cladding of tantalum and niobium on titanium by electron beam injected in atmosphere. // *Advanced Materials Research*, 2011. - Vol.314-316. - P.23-27. [doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.314-316.23].
- [324] Бабайлов С.П., Горюнова А.В., Дудников А.В., Магниторезонансные термосенсорные реагенты на основе парамагнитных трис-диизобутилдитиофосфатных комплексов европия (iii) с 2,2-бипиридиллом для контроля температуры в растворах. // *Журнал структурной химии*. – в печати.
- [325] Калашников В.В., Брызгин А.А., Сидоров А.В. О развитии аппаратной дезинфекции изделий медицинского назначения. // *Медицинский бизнес*, Москва, 2011. - N5(205). - С.70-71.
- [326] Bezuglov V.V., Bryazgin A.A., Voronin L.A., Gorbunov V.A., Kokin E.N., Korobeynikov M.V., Lukin A.N., Makarov I.G., Maximov S.A., Panfilov A.D., Podobayev V.S., Radchenko V.M., Sidorov A.V., Tarnetskiy, V.V., Tiunov M.A., Tkachenko V.O., Faktorovich B.L., Shtarklev E.A., Chernov K.N. Sterilization complexes based on ILU-type electron accelerators. // *Nuclear Science and Techniques*, Feb. 2011. - Vol.22, N1. - Shanghai, China. ISSN 1001-8042. CN 31 – 1559 / TL.

ДОКЛАДЫ НА КОНФЕРЕНЦИЯХ

- [327] Knyazev B.A. Advances in real-time terahertz imaging using the Novosibirsk free electron laser: imaging devices and applications. // 19th Intern. Conf. on Advanced Laser Technologies (ALT'11), 3-8 Sept. 2011, Golden Sands, Bulgaria: Book of Abstr., Inst. of Electronics of the Bulg. AS, 2011. - P.101.
- [328] Makarov S.V., Golosov E.V., Golosova O.A., Ionin A.A., Kolobov Yu.R., Kudryashov S.I., Ligachev A.E., Seleznev L.V., Sinityn D.V., Korolkov V.P., Samsonov R.V., Masliy A.I., Medvedev A.Zh., Goldenberg B.G. Modification of surface optical properties of solids by femtosecond laser pulses. // 19th Intern. Conf. on Advanced Laser Technologies (ALT'11), Golden Sands, Bulgaria, 3 - 8 Sept. 2011: Book of Abstr.: Inst. of Electronics of the Bulg. AS, 2011.- P.76.
- [329] Popik V.M., Gerlinskaya L.A., Goryachkovskaya T.N., Kolchanov N.A., Moshkin M.P., Peltek S.E. Complex estimates of nanoparticles with living objects by the example of the domestic mice. // 2-ая Международная школа "Наноматериалы и нанотехнологии в живых системах. Безопасность и наномедицина", 19-24 сент. 2011, пансионат "Заря", Московская обл.: тез. докл. М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2011. - P.134.
- [330] Попик В.М., Герлинская Л.А., Горячкова Т.Н., Колчанов Н.А., Мошкин М.П., Пельтек С.Е. Комплексная оценка контакта наночастиц с живыми объектами на примере домашней мыши. // 2-ая Международная школа "Наноматериалы и нанотехнологии в живых системах. Безопасность и наномедицина", 19-24 сент. 2011, пансионат "Заря", Московская обл.: тез. докл. - М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2011.- С.32.
- [331] Choporova Y.Yu., Cherkassky V.S., Knyazev B.A. In-line and reference-beam holography experiments on Novosibirsk free electron [Electronic resource]. // 36th Intern. Conf. on Infrared Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2011), Houston, Texas, USA, Oct. 2 - 7, 2011. - S.I, 2011.
- [332] Knyazev B.A., Cherkassky V.S., Chesnokov E.N., Choporova Y.Yu., Dem'yanenko M.A., Esaev D.G., Gerasimov V.V., Getmanov Ya.V., Goryachkovskaya T.N., Kolobanov E.I., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Medvedev L.E., Naumova E.V., Nikitin A.A., Nikitin A.K., Miginsky S.V., Peltek S.E., Persov B.Z., Pickalov V.V., Popik V.M., Prinz V.Ya., Salikova T.V., Scheglov M.A., Serednyakov S.S., Shevchenko O.A., Skrinsky A.N., Vinokurov N.A., Vlasenko M.G., Zaigraeva N.S. Novosibirsk terahertz free electron laser: facility development and new experimental results at the user stations [Electronic resource]. // 36th Intern. Conf. on Infrared Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW - THz 2011), Houston, Texas, USA, Oct. 2 - 7, 2011. - S.I, 2011.
- [333] Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Nikitin A.K., Zhizhin G.N. Terahertz surface plasmon generation and study using a free-electron laser and uncooled detectors [Electronic resource]. // 36th Intern. Conf. on Infrared Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW - THz 2011), Houston, Texas, USA, Oct. 2 - 7, 2011.- S.I, 2011.
- [334] Vlasenko M.G., Pickalov V.V., Rodionov D.G., Knyazev B.A. Tomography using a high-power terahertz free electron laser [Electronic resource]. // 36th Intern. Conf. on Infrared Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW - THz 2011), Houston, Texas, USA, Oct. 2 - 7, 2011. - S.I, 2011.
- [335] Knyazev B.A., Cherkassky V.S., Choporova Y.Yu., Gerasimov V.V., Vlasenko M.G., Dem'yanenko M.A., Esaev D.G., Nikitin A.K., Kulipanov G.N., Vinokurov N.A. High-power monochromatic terahertz radiation: metrological aspects. // Proc. of the 20th IMEKO TS2 Sympos. on Photonics in Measurement (20th ISPM), May 16 - 18, 2011, Linz, Austria. - Aachen: Shaker, 2011.- P.141-145.
- [336] Kuznetsov S.A., Paulish A.G., Gelfand A.V., Lazorskiy P.A., Fedorinin V.N., Arzhannikov A.V. THz imaging system based on THz-to-IR converter. // Proc. of the 20th IMEKO TS2 Sympos. on Photonics in Measurement (20th ISPM), May 16 - 18, 2011, Linz, Austria. - Aachen: Shaker, 2011. - P.135-140.
- [337] Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Nikitin A.K., Zhizhin G.N. Experiments on generation of surface plasmons

- using terahertz radiation of a free-electron laser. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011.- P.247-248.
- [338] Kulipanov G.N. High power NovoFEL: developments and new results. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011.- P.26-27.
- [339] Knyazev B.A. Imaging with a high-power monochromatic terahertz source: techniques and applications. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011.- P.219-220.
- [340] Choporova Yu.Yu., Cherkassky V.S., Knyazev B.A. In-line and reference-beam holography experiments at Novosibirsk free electron laser. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011.- P.240-241.
- [341] Esaulkov M.N., Borodin A.V., Kuricyn I.I., Kotelnikov I.A., Shkurinov A.P. Role of the multiphoton ionization in generation of broadband terahertz radiation from optical breakdown plasma. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011.- P.242-243.
- [342] Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Chesnokov E.N., Shevchenko O.A. Ultra-fast phenomena on powerful terahertz NovoFEL. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011.- p.258-259.
- [343] Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Sokolov A., Akimov D., Alexandrov I., Breskin A. Geiger mode APD performance in a cryogenic two-phase Ar avalanche detector based on THGEMs. // Proc. of the 12th Intern. Vienna Conf. on Instrumentation (VCI 2010), Vienna, Austria, Febr. 15 - 20, 2010. - Amsterdam: Elsevier, 2011.- P.364-368.
- [344] Babichev E.A., Baru S.E., Grigoriev D.N., Groshev V.R., Leonov V.V., Papushev P.A., Porosev V.V., Savinov G.A., Shayakhmetov V.R., Shekhtman L.I., Tikhonov Yu.A., Ukraintsev Yu.G., Yurchenko Yu.B. High-resolution detectors for medical applications and synchrotron radiation research. // Proc. of the 12th Intern. Vienna Conf. on Instrumentation, Vienna, Austria, Febr. 15 - 20, 2010. - Amsterdam: Elsevier, 2011.- P.440-443.
- [345] Герасимов В.В., Князев Б.А., Никитин А.К. Визуализация поля поверхностных плазмонов, генерированных терагерцовым излучением новосибирского лазера на свободных электронах. // VIII Всерос. семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 1-4 марта 2011, Н.Новгород: тез. докл. - Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011. - С.28-29.
- [346] Аржанников А.В., Бурдаков А.В., Калинин П.В., Кузнецов С.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Синицкий С.Л., Скляр В.Ф., Степанов В.Д., Суляев Ю.С., Тумм М.К.А., Вячеслав Л.Н. Генерация субтерагерцового излучения в плазме с сильной турбулентностью при инжекции сильноточного РЭП. // VIII Всерос. семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 1-4 марта 2011, Н.Новгород: тез. докл. - Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011. - С.17-18.
- [347] Кузнецов С.А., Аржанников А.В., Паулиш А.Г., Гельфанд А.В., Кубарев В.В., Соройа М. Микроструктурные квазиоптические селективные элементы субмиллиметрового диапазона. // VIII Всерос. семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 1-4 марта 2011, Н.Новгород: тез. докл. - Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011. - С.16-17.
- [348] Кубарев В.В., Климов А.Э., Пашин В.С., Чаплик А.В., Принц В.Я., Наумова А.В., Окотруб А.В., Чесноков Е.Н. Терагерцовое излучение в исследованиях твердого тела, полупроводников, метаматериалов и сверхбыстрой спектроскопии газов. // VIII Всерос. семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 1-4 марта 2011, Н.Новгород: тез. докл. - Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011.- С.15.
- [349] Князев Б.А., Винокуров Н.А., Ведерников В.М., Власенко М.Г., Воблый П.Д., Гальт А.А., Герасимов В.В., Гетманов Я.В., Дементьев Е.Н., Довженко И.А., Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Заиграева Н.С., Колобанов Е.И., Кубарев В.В., Кулипанов Г.Н., Медведев Л.Э., Мигинский С.В., Мироненко Л.А., Никитин А.К., Овчар В.К., Пальчикова И.Г., Персов Б.З., Пикалов В.В., Попик В.М., Саликова Т.В., Середняков С.С., Скринский А.Н., Ступак М.Ф., Ческидов В.Г., Черкасский В.С., Чопорова Ю.Ю., Шевченко О.А., Щеглов М.А. Новосибирский лазер на свободных электронах: запуск второй очереди и эксперименты по квазиоптике. // VIII Всерос. семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 1-4 марта 2011, Н.Новгород: тез. докл. - Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011.- С.11-12.

- [350] Золотарев К.В., Кулипанов Г.Н., Мезенцев Н.А., Синяткин С.В., Филипченко А.В. Анализ возможностей генерации ондуляторного излучения для EUV литографии на зеленоградском источнике СИ [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии»: РСНЭ - НБИК 2011: продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011. - С.499.
- [351] Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В. Аналитическая микростратиграфия с использованием синхротронного излучения [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии»: РСНЭ - НБИК 2011: продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011. - С.536.
- [352] Ракшун Я.В., Чернов В.А., Мезенцев Н.А., Кулипанов Г.Н., Холопов М.А., Сороколетов Д.С. Аппаратурно-методический комплекс для исследований методом рентгеновской спектроскопии поглощения в мягком рентгеновском диапазоне [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011. - С.551.
- [353] Чернов В.А., Косов А.В., Ракшун Я.В., Мезенцев Н.А. Датчик положения рентгеновского пучка на основе зеркал скользящего падения [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии»: РСНЭ - НБИК 2011: продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14 - 18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011. - С.558.
- [354] Кондратьев В.И., Толочко Б.П., Жогин И.Л., Косов А.В., Пирогов Б.Я. Интроскоп мягкого рентгеновского излучения на запоминающих экранах с матричным считыванием [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011. - С.501.
- [355] Шехтман Л.И., Аульченко В.М., Жуланов В.В., Папушев П.А., Титов В.М., Толочко Б.П., Шарафутдинов М.Р. Координатный детектор ОД-4 с большой угловой апертурой для дифракционных исследований с высоким разрешением [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011. - С.520.
- [356] Корнеев В.Н., Шлектарев В.А., Забелин А.В., Аульченко В.М., Толочко Б.П., Арискин Н.И., Ланина Н.Ф., Вазина А.А. Малоугловые рентгенографические станции на базе цилиндрических трансфокаторов для наноструктурных исследований с использованием синхротронного излучения [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011. - С.502.
- [357] Сороколетов Д.С., Ракшун Я.В., Дарьин А.В., Максимовская В.В., Холопов М.А. Модернизация станции РФА-СИ для развития метода сканирующего микроанализа [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011. - С.556.
- [358] Ланина Н.Ф., Вазина А.А., Васильева А.А., Корнеев В.Н., Забелин А.В., Степанова В.В., Куприянова Т.А., Легкодымов А.А., Кунду С.Ч. Молекулярные и наноструктурные исследования различных природных и биотехнологических конструкций шелка [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011. - С.64.

- [359] Маевский Е.И., Аульченко В.М., Вазина А.А., Забелин А.В., Корнеев В.Н., Кулипанов Г.Н., Куприянова Т.А., Ланина Н.Ф., Летягин В.П., Степанова В.В., Станкевич В.Г., Толочко Б.П., Шарафутдинов М.Р. Наноструктурные измерения эпителиальных тканей при онкологической патологии [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011.- С.65.
- [360] Вазина А.А., Ланина Н.Ф., Шеромов М.А., Васильев В.Д., Самойлович М.И. Роль внешнего поля сил в структурной динамике мультидоменных белков иммуноглобулинового суперсемейства на примере фибриллярного мышечного белка тайтина [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011.- С.10.
- [361] Николенко А.Н., Горловой А.В., Ивлюшкин Д.В., Легкодымов А.А., Лях В.В., Машковцев М.Р., Пиндюрин В.Ф., Шадрин Н.С. Станция синхротронного излучения «Космос»: аппаратно - методический комплекс для проведения метрологических работ в мягком рентгеновском и ВУФ диапазонах [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011.- С.507.
- [362] Жмуриков Е.И., Савченко И.В., Станкус С.В., Тессіо L. Теплофизические свойства графитовых композитов для ядерной техники [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011.- С.245.
- [363] Генцелев А.Н., Гольденберг Б.Г., Николенко А.Д., Пиндюрин В.Ф., Полетаев И.В. Установка для мягкой рентгеновской литографии на ВЭПП-4 [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011.- С.532.
- [364] Максимовская В.В., Золотарёв К.В., Чернов В.А., Мезенцев Н.А., Ракшун Я.В. Установка для рентгенофлуоресцентного анализа в условиях ПВО на станции РФА-СИ накопителя ВЭПП-3 [Электронный ресурс]. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011.- С.547.
- [365] Толочко Б.П., Жогин И.Л., Мезенцев Н.А., Левичев Е.Б., Кулипанов Г.Н., Аульченко В.М., Тен К.А. Экспериментальная станция «Детонация» синхротронного излучения 100-полосного сверхпроводящего вигглера накопителя ВЭПП-4. // VIII Национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (РСНЭ - НБИК 2011): продолж. Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов, Москва, 14-18 ноября, 2011: тез. докл. - Москва: ИК РАН - НИЦ КИ, 2011.
- [366] Дарьин А.В., Калугин И.А., Золотарев К.В., Ракшун Я.В. Аналитическая микростратиграфия с использованием сканирующего микроанализа на пучках синхротронного излучения. // VII Всерос. конф. по рентгеноспектральному анализу: тез. докл., Новосибирск, 19-23 сент. 2011. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. - С.165.
- [367] Куприянова Т.А., Филиппов М.Н., Вазина А.А., Васильева А.А., Ланина Н.Ф., Вирюс А.А., Легкодымов А.А., Кунду С.С. Рентгенофлуоресцентный анализ шелка с использованием синхротронного излучения. // VII Всерос. конф. по рентгеноспектральному анализу: тез. докл., Новосибирск, 19-23 сент. 2011. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. - С.168.
- [368] Дарьин А.В., Калугин И.А., Золотарев К.В., Ракшун Я.В. Аналитическая микростратиграфия с использованием сканирующего микроанализа на пучках синхротронного излучения [Электронный ресурс]. // VII Всерос. конф. по рентгеноспектральному анализу: тез. докл., Новосибирск, 19-23 сент. 2011. - 2011. - С.165.

- [369] Цидулко Ю.А., Черноштанов И.С. Альфвеновская ионно-циклотронная неустойчивость в ловушке с сильно анизотропной горячей компонентой ионов [Электронный ресурс]. // XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.МС 2 - 03.
- [370] Лотов К.В., Маслов В.И., Онищенко И.Н. Длинная последовательность релятивистских электронных сгустков как драйвер в кильватерном ускорении заряженных частиц в плазме [Электронный ресурс]. // XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.ТУ 2 - 05.
- [371] Иванцовский М.В., Бурдаков А.В., Вячеславов Л.Н., Иванов И.А., Касатов А.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Попов С.С., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л. Измерение динамики немаксвелловской функции распределения электронов в различных пространственных точках на установке ГОЛ-3 [Электронный ресурс]. // XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.МС 1 - 07.
- [372] Касатов А.А., Попов С.С. Импульсный источник света с гладким спектром на основе ксеноновой лампы для калибровки системы томсоновского рассеяния [Электронный ресурс]. // XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.ПС 1 - 16.
- [373] Сквородин Д.И., Беклемишев А.Д. Исследование влияния амбиполярного потенциала на продольные потери из зеркальной ловушки в полустолкновительном режиме [Электронный ресурс]. // XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.МС 1 - 06.
- [374] Сквородин Д.И., Беклемишев А.Д. Исследование влияния амбиполярного потенциала на продольные потери из зеркальной ловушки в полустолкновительном режиме. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, г. Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.52.
- [375] Скляр В.Ф., Аржанников А.В., Бурдаков А.В., Кузнецов С.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л. Исследование эмиссии субмиллиметрового электромагнитного излучения при турбулентном нагреве плазмы на установке ГОЛ-3. [Электронный ресурс]. // XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.МС 1 - 03.
- [376] Куркучев В.В., Кандауров И.В., Трунев Ю.А. Мультиапертурный источник электронного пучка с дуговым плазменным эмиттером во внешнем магнитном поле [Электронный ресурс]. // XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.ТС 1 - 05.
- [377] Димов Г.И., Емелев И.С., Воблый П.Д., Кобец В.В., Тиунов М.А. Мультипольная ловушка кольцевой геометрии для удержания низкотемпературной плазмы [Электронный ресурс]. // XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.ПС 1 - 06.
- [378] Авроров А.П., Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Быков П.В., Деревянкин Г.Е., Кандауров И.В., Капитонов В.А., Куркучев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л., Трунев Ю.А., Яровой В.А. Прототип источника суб-миллисекундного электронного пучка для установки ГОЛ-3 [Электронный ресурс]. // XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.ТС 1 - 09.
- [379] Цидулко Ю.А., Черноштанов И.С. Спирально-симметричные решения уравнений Власова-Максвелла [Электронный ресурс]. // XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 14-18 февр. 2011, Звенигород. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.МС 2 - 04.
- [380] Цидулко Ю.А., Черноштанов И.С. Альфвеновская ионно-циклотронная неустойчивость в ловушке с сильно анизотропной горячей компонентой ионов. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.84.
- [381] Лотов К.В., Маслов В.И., Онищенко И.Н. Длинная последовательность релятивистских электронных сгустков как драйвер в кильватерном ускорении заряженных частиц в плазме. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.315.
- [382] Димов Г.И., Емелев И.С., Воблый П.Д., Кобец В.В., Тиунов М.А. Мультипольная ловушка кольцевой геометрии для удержания низкотемпературной плазмы. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.204.

- [383] Беклемишев А.Д. Проект открытой ловушки нового поколения в ИЯФ “Ловушка с турбулентными пробками”. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.19.
- [384] Цидулко Ю.А., Черноштанов И.С. Спирально-симметричные решения уравнений Власова-Максвелла. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.85.
- [385] Климов А.Э., Кубарев В.В., Пашин Н.С., Шумский В.Н. Инжекционный ток в PbSnTe:In при освещении излучением терагерцового диапазона длин волн. // X Российская конференция по физике полупроводников, Нижний Новгород, 19-23 сентября 2011: тез. конф. - Н.Новгород: НГУ им. Лобачевского, 2011. - С.169.
- [386] Чистохин И.Б., Пчеляков О.П., Тишковсий Е.Г., Максимов В.В., Иванов А.А., Пинженин Е.И. Линейчатые кремниевые лавинные диоды для прямой регистрации низкоэнергетических частиц. // X Российская конференция по физике полупроводников, Нижний Новгород, 19-23 сентября 2011: тез. конф. - Н.Новгород: НГУ им. Лобачевского, 2011. - С.242.
- [387] Гаушштейн В.В., Дусаев Р.Р., Зеваков С.А., Логинов А.Ю., Николенко Д.М., Рачек И.А., Сидоров А.А., Стибунов В.Н., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В. Измерение дифференциального сечения реакции $\gamma d \rightarrow pp \pi$ в области больших импульсов протонов. // Ядерная и радиационная физика: Материалы 8-й Междунар. конф., 20-23 сент. 2011, Алматы, Казахстан: тез. - Алматы, 2011.- С.142.
- [388] Гаушштейн В.В., Грамолин А.В., Зеваков С.А., Логинов А.Ю., Николенко Д.М., Рачек И.А., Сидоров А.А., Стибунов В.Н., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В. Измерение компонент тензорной анализирующей способности реакции фотообразования отрицательных пи-мезонов на поляризованных дейтронах. // Ядерная и радиационная физика: Материалы 8-ой Междунар. конф., 20-23 сент. 2011, Алматы, Казахстан: тез. - Алматы, 2011.- С.143.
- [389] Гаушштейн В.В., Грамолин А.В., Зеваков С.А., Логинов А.Ю., Николенко Д.М., Рачек И.А., Сидоров А.А., Стибунов В.Н., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В. Некогерентное фотообразование нейтральных пи-мезонов на тензорно поляризованных дейтронах. // Ядерная и радиационная физика: Материалы 8-й Междунар. конф., 20-23 сент. 2011, Алматы, Казахстан: тез. - Алматы: ИЯФ НЯЦ РК, 2011.- С.74.
- [390] Антохин Е.И., Елисеев В.С., Клименко А.С., Толочко Б.П., Окогруб А.В. Синтез нанотрубок на промышленном ускорителе электронов и их применение. // Ядерная и радиационная физика: Материалы 8-й Междунар. конф., 20-23 сент. 2011, Алматы, Казахстан: тез. - Алматы, 2011.- С.340.
- [391] Smaluk V., Bekhtenev E., Cherepanov V., Karpov G., Kuzminykh V., Meshkov O., Singh O., Pinayev I., Vetter K. Beam diagnostics for the NSLS-II booster [Electronic resource]. // 10th European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators (DIPAC 2011), Hamburg, Germany, May 16 - 18, 2011: Proc. - S.1, 2011. - P.29-31. MOPD01.
- [392] Oreshonok V.V., Cherepanov V.P., Smaluk V.V., Sukhanov D.P. Broadband digital feedback system for the VEPP-4M electron-positron collider [Electronic resource]. // 10th European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators (DIPAC 2011), Hamburg, Germany, May 16 - 18, 2011: Proc. - S.1, 2011. - P.224-226. [JACoW, MOPD82].
- [393] Meshkov O.I., Smaluk V.V., Sukhanov D.P., Galashov E.N., Dorokhov V., Zhuravlev A.N., Kiselev V.A. Experimental comparison of performance of various fluorescent screens applied for relativistic electron/positron beam imaging [Electronic resource]. // 10th European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators (DIPAC 2011), Hamburg, Germany, May 16 - 18, 2011: Proc. - S.1, 2011.- P.558-560.
- [394] Anashin V.V., Krasnov A.A., Ovchar V.K., Smaluk V.V., Sukhanov D.P. Installation for measurements of secondary emission yield and electron cloud lifetime in magnetic field [Electronic resource]. // 10th European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators (DIPAC 2011), Hamburg, Germany, May 16 - 18, 2011: Proc. - S.1, 2011. - P.236-238.
- [395] Velikanov Yu.M., Veremeenko V.F., Vinokurov N.A., Galt A.A., Dovzhenko B.A., Kozak V.R., Kuper E.A., Medvedev L.E., Medvedko A.S., Serednyakov S.S. Control system for magnet power supplies for Novosibirsk free electron laser [Electronic resource]. // 13th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems 10 - 14 Oct. 2011, WTC Grenoble, France: Contributions to the Proc. - S.1, 2011.- P.480-482.
- [396] Panov A., Bak P., Bolkhovityanov D. LIA-2 power supply control system [Electronic resource]. // 13th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALPECS 2011), 10-14 Oct. 2011, WTC Grenoble, France: Contributions to the Proc. - S.1, 2011. - P.926-928.
- [397] Cheblakov P., Karnev S., Serednyakov S., Louie W., Tian Y. NSLS-II booster power supplies control [Electronic resource]. // 13th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems

- (ICALEPCS 2011), 10-14 Oct. 2011, WTC Grenoble, France: Contributions to the Proc. - S.I, S.a. - P.1018-1020.
- [398] Cheblakov P., Karnaeв S., Long J.D. NSLS-II booster timing system [Electronic resource] // 13th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2011), 10-14 Oct. 2011, WTC Grenoble, France: Contributions to the Proc. - S.I, 2011. - P.1003-1005.
- [399] Bolkhovityanov D., Cheblakov P. PCI hardware support in LIA-2 control system [Electronic resource]. // 13th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2011), 10-14 Oct. 2011, WTC Grenoble, France: Contributions to the Proc. - S.I, 2011. - P.916-918.
- [400] Ivanyushenkov Y., Abliz M., Doose C., Kasa M., Trakhtenberg E.M., Vasserman I.B., Mezentsev N.A., Tsukanov V.M., Lev V.H. Development status of a magnetic measurement system for the APS superconducting undulator [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conf., March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.1286-1288.
- [401] Zelenski A., Ritter J., Zubets V., Steski D., Atoian G., Davydenko V., Ivanov A., Kolmogorov A. High-intensity, high-brightness polarized and unpolarized beam production in charge-exchange [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conf., March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.2555-2557.
- [402] Bogomyagkov A.V., Levichev E.B., Piminov P.A. Interaction region design of Super-ct-factory in Novosibirsk [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conf., March 28 - April 1, 2011, New York, USA.- S.I, 2011. - P.2264-2266.
- [403] Gurov S., Batrakov A., Emanov F., Kobets V., Polukhin V., Tsyganov A., Vobly P., Yaskina T., Jago S., Shih J., Tomlinson S. Large aperture quadrupole magnets for ISIS TS-1 and TS-2 [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conf., March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.1103-1105.
- [404] Blinov V., Kiselev V., Nikitin S., Nikolaev I., Smaluk V. Measurement of the energy dependence of Touschek electron counting rate [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conf., March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.426-428.
- [405] Gurov S., Akimov A., Anchugov O., Batrakov A., Belikov O., Bekhtenev E., Cheblakov P., Cherepanov V., Chernyakin A., Cheskidov V., Churkin I., Dubrovin A., Erokhin A., Gorchakov K., Karnaeв S., Karpov G., Kiselev V., Kobets V., Konstantinov V., Kolmogorov V., Korepanov A., Kuper E., Kuzminykh V., Levichev E., Mamkin V., Medvedko A., Meshkov O., Nefedov N., Neyfeld V., Okunev I., Petrov V., Petrichenkov M., Polyansky A., Pureskin D., Rakhimov A., Ruvinskiy S., Rybitskaya T., Schegolev L., Semenov A., Senkov D., Serednyakov S., Shiyankov S., Shvedov D., Sinyatkin S., Smaluk V., Sukhanov A., Tsukanova L., Utkin A., Yaminov K., Zhirkova A., Elkaer A., Shaftan T., Ganetis G., Willeke F., Sharma S., Fliiller R., Singh O., Pinaev I., Hseuh H., De Long J., Tian Y., Yong H. Status of NSLS-II booster [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conf., March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.1864-1866. [JACoW, WEP201].
- [406] Wittmer W., Bertsche K., Chao A., Novokhatski A., Nosochkov Y., Seeman J., Sullivan M.K., Wienands U., Bogomyagkov A.V., Levichev E., Nikitin S., Piminov P., Shatilov D., Sinyatkin S., Vobly P., Okunev I.N., et al. SuperB: next-generation e⁺e⁻ B-factory collider [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conf., March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.690-692. [SLAC-PUB-14286].
- [407] Petrichenkov M.V., Chudaev V.Ya. The new approximation of dose attenuation curve in concrete [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conf., March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.2217-2219.
- [408] Zolkin T., Skrynsky A. Usage of Li-rods for ionization cooling of muons [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conf., March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.226-228.
- [409] Dementyev E.N., Medvedko A.S., Serednyakov S.S., Shubin E.N., Tcheskidov V.G., Vinokurov N.A. Software and capabilities of the beam position measurement system for Novosibirsk free electron laser [Electronic resource]. // 13th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2011), 10 - 14 Oct. 2011, WTC Grenoble, France: Contributions to the Proc. - S.I, 2011. - P.422-424.
- [410] Gudkov B.A., Selivanov P.A., Kozak E.A., Kuper E.A., Serednyakov S.S., Tararyshkin S.V. Temperature measurement system of Novosibirsk free electron laser [Electronic resource] // 13th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2011), 10-14 Oct. 2011, WTC Grenoble, France: Contributions to the Proc. - S.I, 2011. - P.1044-1046.
- [411] Schlenker S., Arfaoui S., Franz S., Gutzwiller O., Tsarochas C.A., Mindur B., Hartert J., Zimmermann S., Talyshv A., et al. The ATLAS detector control system. // 13th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2011), 10-14 Oct. 2011, WTC Grenoble, France: Contributions to the Proc. - S.I, 2011. - P.5-8.
- [412] Adakin A., Chubarov D., Nikultsev V., Belov S., Kaplin V., Sukharev A., Zaytsev A., Kuchin N., Lomakin

- S., Kalyuzhny V. Virtualized high performance computing infrastructure of Novosibirsk scientific center [Electronic resource]. // 13th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALPCS 2011), 10-14 Oct. 2011, WTC Grenoble, France: Contributions to the Proc. - S.I, 2011. - P.630-633.
- [413] Jago S.J.S., Shih J., Tomlinson S.F.S., Gurov S. Quadrupole magnet with an integrated dipole steering element for the ISIS beam transport line [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf. (IPAC 2011), 4-9 Sept. 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.2445-2447.
- [414] Krushchev S.V., Lev V.K., Mezentsev N.A., Miginsky E.G., Shkaruba V.A., Syrovatin V.M., Tsukanov V.M., Volkov A.A., Campmany J., Einfeld D. Superconducting 119-pole wiggler for ALBA light source [Electronic resource] // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf. (IPAC 2011), 4-9 Sept. 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.3302-3304.
- [415] Dietrich J., Kamerzhiev V., Bryzgunov M.I., Goncharov A.D., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Skorobogatov D.N. Status of the 2 MeV electron cooler for COSY/HESR [Electronic resource]. // Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 11), Sept. 12 - 16, 2011, Pansionat "Dubna", Alushta, Ukraine. - S.I, 2011. - P.15-18.
- [416] Gabard A., George D., Negrazus M., Rivkin L., Vrankovic V., Kolokolnikov Yu., Vobly P. A 2.9 tesla room temperature superband magnet for the swiss light source at PSI [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf. (IPAC 2011), 4-9 Sept. 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.3038-3040.
- [417] Getmanov Ya.V., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A. Longitudinal stability of ERL with two accelerating RF structures [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf. (IPAC 2011), 4-9 Sept. 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.1509-1511.
- [418] Eliseev A.V., Brovko O.I., Meshkov I.N., Sidorin A.O., Trubnikov V., Kurkin G.Y., Petrov V.M. RF systems and bunch formation at NICA [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf. (IPAC 2011), 4-9 Sept. 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.2511-2513.
- [419] Litvinenko V.N., Vobly P., Kholopov M., Shevchenko O., et al. Coherent electron cooling demonstration experiment [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf. (IPAC 2011), 4-9 Sept. 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.3442-3444.
- [420] Neumann A., Volkov V., et al. First characterization of a fully superconducting RF photoinjector cavity [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf. (IPAC 2011), 4-9 Sept. 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.41-43.
- [421] Kamps T., Anders W., Barday R., Jankowiak A., Knobloch J., Kugeler O., Matveenko A., Neumann A., Quast T., Rudolph J., Schubert S., Volker J., Kneisel P., Nietubyc R., Sekutowicz J., Smedley J., Volkov V., Weinberg G., Will I. First demonstration of electron beam generation and characterization with an all superconducting radiofrequency (SRF) photoinjector [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf. (IPAC 2011), 4-9 Sept. 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.3143-3145.
- [422] W. Wittmer (FRIB, Michigan State University, East Lansing, Mi, USA), K. Bertsche, A. Chao, A. Novokhatski, Y. Nosochkov, J. Seeman, M. K. Sullivan, U. Wienands, S. Weathersby (SLAC, Menlo Park, Ca, USA), A.V. Bogomyagkov, E. Levichev, S. Nikitin, P. Piminov, D. Shatilov, S. Sinyatkin, P. Vobly, I.N. Okunev (BINP, Novosibirsk, RU), B. Bolzon, L. Brunetti, A. Jeremie (IN2P3-LAPP), Annecy-le-Vieux, F M.E. Biagini, R. Boni, M. Boscolo, T. Demma, A. Drago, M. Esposito, S. Guiducci, S. Liuzzo, M. Preger, P. Raimondi, S. Tomassini, M. Zobov (INFN/LNF, Frascati, Roma, IT), E. Paoloni (INFN & Universit`a di Pisa, IT), P. Fabbriatore, R. Musenich, S. Farinon (INFN & Universit`a di Genova, IT S. Bettoni CERN, Geneva, CH), F. Poirier, C. Rimbault, A. Variola LAL, Orsay, F M. Baylac, O. Bourrion, N. Monseu, C. Vescovi (LPSC, Grenoble, F A. Chanc`e, CEA, Saclay, F). Status of the Super-B factory design. // Proc. of the Meeting of the Division of Particles and Fields of the American Physical Society (DPF-2011), August 8-13, 2011, Providence, Rhode Island, USA.
- [423] Wittmer W., Bogomyagkov A., Koop I., Levichev E., Nikitin S., Okunev I., Piminov P., Sinyatkin S., Shatilov D., Vobly P., et al. Status of the Super-B factory design. // Proc. of the Meeting of the Division of Particles and Fields of the American Physical Society (DPF-2011), August 8-13, 2011, Providence, Rhode Island, USA. [E-print: arXiv:1110.2167, 2011].
- [424] Bogomyagkov A.V. Super-c-tau in Novosibirsk. // Intern. Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi (PHIPSI11), September 19 - 22, 2011, BINP, Novosibirsk.
- [425] Семенов А.М., Анашин В.В., Краснов А.А., Hseuh H.C., Shaftan Т. Вакуумная система бустера NSLS-II. // XVIII научно-техническая конференция «Вакуумная наука и техника», 2011, Судак. - Материалы конф., 2011, Судак. - С.331-334.
- [426] Gurov S.M., Akimov A.V., Anchugov O.V., Batrakov A.M., Belikov O.V., Bekhtenev E.A., Burenkov D.B., Cheblakov P.B., Cherepanov V.P., Chernyakin A.D., Cheskidov V.G., Churkin I.N., Elkaer A., Erokhin A.I.,

- Fliller R., Gorchakov K.M., Gurov D.S., Ganetis G., Hseuh H., Karnev S.E., Karpov G.V., Kiselev V.A., Kobets V.V., Konstantinov V.M., Kolmogorov V.V., Korepanov A.A., Kuper E.A., Kuzminykh V.S., Levichev E.B., J. De Long, V.R. Mamkin, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, N.B. Nefedov, V.V. Neyfeld, I.N. Okunev, Petrov V.V., Petrichenkov M.V., Philipchenko A.V., Polyansky A.V., Pureskin D.N., Rakhimov A.R., Ruvinskiy S.I., Schegolev L.M., Semenov A.M., Senkov D.V., Serednyakov S.S., Shaftan T.V., Sharma S., Shichkov D.S., Singh O., Shiyankov S.V., Shvedov D.A., Sinyatkin S.V., Smaluk V.V., Sukhanov A.V., Tian Y., Utkin A.V., Willeke F., Yaminov K.R., Yong H. Status of NSLS-II Booster. // XXII Intern. Workshop on Charged Particle Accelerators (IWCPA2011), September 22 - 28, 2011, Alushta, Ukraine.
- [427] Nikolenko D.M., Rachek I.A., Shestakov Yu.V., Toporkov D.K. Possibility to obtain a polarized hydrogen molecular target. // XIV Intern. Workshop on Polarized Sources, Targets and Polarimetry, 12-16 September, 2011, St. Petersburg, Russia. - Conference Proc., p.73-75.
- [428] Obrazovsky A.E. Preliminary results on $e^+ e^-$ to hadrons from SND detector at VEPP-2000 collider. // XIV International Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron 2011), 13 - 17 June, 2011, Muenchen. [<http://www.slac.stanford.edu/econf/C110613>].
- [429] Achasov M.N., Aulchenko V.M., Barnyakov, A.Yu. Beloborodov K.I., Berdugin A.V., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Bukin D.A., Golubev V.B., Grevtsov K.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Kardapoltsev, L.V. Kharlamov A.G., Kovrizhin D.P., Korol A.A., Koshuba S.V., Kravchenko E.A., Martin K.A., Obrazovsky A.E., Onuchin A.P., Pakhtusova E.V., Serednyakov S.I., Shatunov Yu.M., Shtol D.A., Shukaev A.N., Silagadze Z.K., Skovpen K.Yu., Skrinsky A.N., Surin I.K., Tikhonov Yu.A., Usov Yu.V., Vasiljev A.V., Vesenev V.M. Spherical Neutral Detector for experiments at VEPP-2000 $e^+ e^-$ collider. // Intern. Workshop on e^+e^- Collisions from ϕ to Ψ , 19 - 24 September, 2011, BINP, Novosibirsk. - To be publ. Nuclear Physics B (Proc. Supplements).
- [430] Achasov M.N., Barnyakov A.Yu., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Bukin D.A., Golubev V.B., Grevtsov K.A., Druzhinin V.P., Kasaev A.S., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Koop I.A., Kovrizhin D.P., Korol A.A., Koshuba S.V., Lysenko A.P., Martin K.A., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Rogovsky Yu.A., Romanov A.L., Serednyakov S.I., Shatunov P.Yu., Shatunov Yu.M., Shtol D.A., Shwartz D.B., Silagadze Z.K., Skovpen K.Yu., Skrinsky A.N., Surin I.K., Tikhonov Yu.A. Vasiljev A.V. First SND detector results on hadron cross sections at VEPP-2000 e^+e^- collider. // XXI Europhysics Conference on High Energy Physics (EPS-HEP2011), 21 - 27 July, 2011, Grenoble, Rhones Alpes, France. - Electronic resource: [Proc. of Science (EPS-HEP2011) 174].
- [431] Serednyakov S.I. First results of SND experiments at VEPP-2000. // Intern. Workshop on e^+e^- collisions from ϕ to Ψ , 19 - 24 September, 2011, BINP, Novosibirsk.
- [432] Golubev V.B. First results on the nucleon form factors from SND. // Intern. Workshop on e^+e^- collisions from ϕ to Ψ , 19 - 24 September, 2011, BINP, Novosibirsk.
- [433] Achasov M.N. Search for LFV in e^+e^- interactions. // Intern. Workshop on e^+e^- collisions from ϕ to Ψ , 19 - 24 September, 2011, BINP, Novosibirsk.
- [434] Kardapoltsev L.V. Preliminary results from SND experiment at VEPP-2000 e^+e^- collider. // PANIC 11, 24-29 July, 2011, USA, Cambridge, Massachusetts at the Massachusetts Institute of Technology (MIT).
- [435] Telnov V.I., Photon collider project. // Talk at Intern. Conference on the Structure and the Interactions of the Photon including the 19th International Workshop on Photon-Photon Collisions (PHOTON2011), SPA, Belgium, May 22 - 27, 2011. - [<http://www.photon11.be/>], [<http://agenda.irmp.ucl.ac.be/getFile.py/access?contribId=8&sessionId=6&resId=0&materialId=slides&confId=924>].
- [436] Telnov V.I., Photon collider at CLIC. Talk at Intern. Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2011), Granada, Spain, 26 - 30 September, 2011. - [<http://www.ugr.es/~lcws11/>], [<http://ilcagenda.linearcollider.org/getFile.py/access?contribId=247&sessionId=58&resId=1&materialId=slides&confId=5134>].
- [437] E.M. Baldin, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, D.V. Bondarev, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnev, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. (KEDR Collab.). Recent results from the KEDR detector at the VEPP-4M e^+e^- collider. // XXI Europhysics Conference on High Energy Physics, 21-27 July 2011, Grenoble, Rhones Alpes, France. - Proc. of Science (EPS-HEP2011) 174.

- [438] A.K. Barladyan, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, D.V. Bondarev, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karneev, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev (KEDR Collab.). Superconducting magnet system for the KEDR detector. // 22nd Intern. Conference on Magnet Technology, 12 - 16 September, 2011, Marseille, France.
- [439] K.Yu. Todyshev, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, D.V. Bondarev, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karneev, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev (KEDR Collab.). Recent results from KEDR. // Международная конференция "От Фи до Пси", 19-24 сентября 2011, ИЯФ СО РАН, Новосибирск. - Доклад.
- [440] V.N. Zhilich, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, D.V. Bondarev, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karneev, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev (KEDR Collab.). KEDR tagger. // Международная конференция "От Фи до Пси", 19-24 сентября 2011, ИЯФ СО РАН, Новосибирск. - Доклад.
- [441] S.I. Eidelman, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, D.V. Bondarev, A.R. Buzykaev, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karneev, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. (KEDR Collab.). Recent results from the KEDR detector. // XIV Intern. Conference on Hadron Spectroscopy (HADRON 11), June 13-17, 2011, Munich, Germany.
- [442] S.I. Eidelman, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, D.V. Bondarev, A.R. Buzykaev, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karneev, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu.

- Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev (KEDR Collab.). Properties of the J/ψ , $\psi(2S)$ and $\psi(3770)$ at KEDR. // 8 Intern. Workshop of QWG, October 4-7, 2011, Darmstadt, Germany.
- [443] Блинов В.Е., Анашин В.В., Аульченко В.М., Балдин Е.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Басок И.Ю., Бару С.Е., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Бондарь А.Е., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Днепровский Л.В., Жилич В.Н., Жуланов В.В., Карпов Г.В., Карпов С.В., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Кудрявцев В.Н., Кузьмин А.С., Куликов В.Ф., Купер Э.А., Левичев Е.Б., Малышев В.М., Максимов Д.А., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мучной Н.Ю., Никитин С.А., Николаев И.Б., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Пивоваров С.Г., Полуэктов А.О., Поспелов Г.Э., Присекин В.Г., Рубан А.А., Родякин В.А., Савинов Г.А., Сковпень Ю.А., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Снопков Р.Г., Соколов А.В., Сухарев А.М., Талышев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю., Усов Ю.В., Харламова Т.А., Шамова А.Г., Шварц Б.А., Шехтман Л.И., Шушаро А.И., Юшков А.Н. Обзор результатов с детектора КЕДР. // Научная сессия-конференция: секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 21 - 25 ноября 2011, ИТЭФ, Москва.
- [444] Сухарев А.М., Анашин В.В., Аульченко В.М., Балдин Е.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бару С.Е., Басок И.Ю., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Блинов В.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Бондарь А.Е., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Днепровский Л.В., Жилич В.Н., Жуланов В.В., Карпов Г.В., Карпов С.В., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Кудрявцев В.Н., Кузьмин А.С., Куликов В.Ф., Купер Э.А., Левичев Е.Б., Малышев В.М., Максимов Д.А., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мучной Н.Ю., Никитин С.А., Николаев И.Б., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Пивоваров С.Г., Полуэктов А.О., Поспелов Г.Э., Присекин В.Г., Рубан А.А., Родякин В.А., Савинов Г.А., Сковпень Ю.А., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Снопков Р.Г., Соколов А.В., Талышев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю., Усов Ю.В., Харламова Т.А., Шамова А.Г., Шварц Б.А., Шехтман Л.И., Шушаро А.И., Юшков А.Н. (коллорабация КЕДР). Измерение параметров семейства ψ -мезонов. // Научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 21-25 ноября 2011, ИТЭФ, Москва.
- [445] Тодышев К.Ю., Анашин В.В., Аульченко В.М., Балдин Е.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Басок И.Ю., Бару С.Е., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Блинов В.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Бондарь А.Е., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Днепровский Л.В., Жилич В.Н., Жуланов В.В., Карпов Г.В., Карпов С.В., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Кудрявцев В.Н., Кузьмин А.С., Куликов В.Ф., Купер Э.А., Левичев Е.Б., Малышев В.М., Максимов Д.А., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мучной Н.Ю., Никитин С.А., Николаев И.Б., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Пивоваров С.Г., Полуэктов А.О., Поспелов Г.Э., Присекин В.Г., Рубан А.А., Родякин В.А., Савинов Г.А., Сковпень Ю.А., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Снопков Р.Г., Соколов А.В., Сухарев А.М., Талышев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Усов Ю.В., Харламова Т.А., Шамова А.Г., Шварц Б.А., Шехтман Л.И., Шушаро А.И., Юшков А.Н. (коллорабация КЕДР). // Измерение параметров $\psi(3770)$ -мезона. // Научная сессия-конференция: секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 21-25 ноября 2011, ИТЭФ, Москва.
- [446] Kravchenko E.A., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Basok I.Yu., Blinov V.E., Bobrovnikov V.S., Borodenko A.A., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Gulevich V.V., Kononov S.A., Kuyanov I.A., Onuchin A.P., Ovtin I.V., Talyshev A.A. Status of FARICH. // Intern. Workshop: XVI SuperB General Meeting, April, 2011, Frascati, Italy.
- [447] Kravchenko E.A., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Basok I.Yu., Blinov V.E., Bobrovnikov V.S., Borodenko A.A., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Gulevich V.V., Kononov S.A., Kuyanov I.A., Onuchin A.P., Ovtin I.V., Talyshev A.A. Test beam results on focusing aerogel. // Intern. Workshop: XVII SuperB Workshop and Kick off Meeting, May - June, 2011, Elba, Italy.
- [448] Kononov S.A., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Basok I.Yu., Blinov V.E., Bobrovnikov V.S., Borodenko A.A., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Gulevich V.V., Kravchenko E.A., Kuyanov I.A., Onuchin A.P., Ovtin I.V., Talyshev A.A. Development of the FARICH detector for the upgrade of the ALICE HMPID system. // Workshop "ALICE Upgrade Forum", June, 2011, CERN, Switzerland.
- [449] Данилюк А.Ф., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бобровников В.С., Бузыкаев А.Р., Кононов С.А.,

- Кравченко Е.А., Онучин А.П. Синтез аэрогелей диоксида кремния. // VI Научно-практическая конференция "Сверхкритические флюиды: фундаментальные основы, технологии, инновации", июль 2011, Листвянка, Россия.
- [450] Kravchenko E.A., Varnyakov A.Yu., Varnyakov M.Yu., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Kononov S.A., Onuchin A.P. Investigation of PMT ageing in Novosibirsk. // Intern. Conference "1st SuperB Collaboration Meeting", September, 2011, London, Great Britain.
- [451] Кравченко Е.А., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Басок И.Ю., Блинов В.Е., Бобровников В.С., Бороденко, А.А. Бузыкаев А.Р., Данилюк А.Ф., Гулевич В.В., Кононов С.А., Куянов И.А., Онучин А.П., Овтин И.В., Талышев А.А. Эксперимент с прототипом ФАРИЧ на выведенном пучке ВЭПП-4М. // Экспериментальный семинар ИЯФ СО РАН, октябрь 2011, Новосибирск, Россия.
- [452] Кононов С.А., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Басок И.Ю., Блинов В.Е., Бобровников В.С., Бороденко, А.А. Бузыкаев А.Р., Данилюк А.Ф., Гулевич В.В., Кравченко Е.А., Куянов И.А., Онучин А.П., Овтин И.В., Талышев А.А. Разработка детектора черенковских колец на основе фокусирующего аэрогеля. // Научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 21-25 ноября 2011, ИТЭФ, Москва.
- [453] Buzulutskov A. Presentation of BINP activity. // Participation in 8th RD51 Collaboration Meeting, 2-3 September 2011, Kobe, Japan.
- [454] Buzulutskov A., Advances in Cryogenic Avalanche Detectors (review). // 2nd Intern. Conference on Micro-Pattern Gaseous Detectors, 29 August - 1 September 2011, Kobe, Japan (to be publ. in JINST).
- [455] Бибердорф Э.А., Попова Н.И. Новые возможности расширенного пакета GALA-4.0. // Ершовская конференция по информатике "Наукоёмкое программное обеспечение", 27 июня - 1 июля 2011, Академгородок, Новосибирск, Россия. Новосибирск. - Тез. докладов: Институт систем информатики СО РАН, 2011.
- [456] Sokolov Valentin V. Dynamical quantum chaos and suppression of quantum coherence. // Third Workshop on Nuclei and Mesoscopic Physics (WNMP11), East Lansing, March 5 - 9, USA. - P.1-35. - [Electronic ArXiv].
- [457] Katkov V.M. Pair creation by polarized photons in constant and homogeneous electromagnetic fields. // IX Intern. Symposium (RREPS-11), September 12-16, 2011, Egham, United Kingdom. - Book of abstracts, P.14.
- [458] Strakhovenko V. Polarized positron production in amorphous targets. // Invited Talk Given at the Workshop "Posipol 2011", August 28-30, 2011, IHEP, Beijing, China. - [<http://indico.ihep.ac.cn/event/2210>].
- [459] Fadin V.S. Connection between "standard" and "quasi-conformal" BFKL kernels and impact factors for colourless particles. // Presented talk: International Workshop "Low x Meeting", June 3-7, 2011, Santiago de Compostela, Spain.
- [460] Fadin V.S. Möbius representation of BFKL equation. // Presented talk: GGI Workshop "High-Energy QCD after the Start of the LHC", September 11 - 30, 2011, Florence, Italy.
- [461] В.С. Фадин. Мёбиусовское представление уравнения БФКЛ. // Научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 21-25 ноября, 2011, Москва, Россия.
- [462] Lee R. DRA method: Powerful tool for the calculation of the loop integrals. // Proc. of Conference on 14th Intern. Workshop on Advanced Computing and Analysis Techniques in Physics Research (ACAT2011), September 5 - 9, 2011, Uxbridge, London, UK.
- [463] Dmitriev V.F. , Berengut J., Flambaum V.V. Quark-mass variation effect on big bang nucleosynthesis. // Conference: Nuclear Physics in Astrophysics V, 3-8 April, 2011, Eilat, Israel.
- [464] Logachev P., Akimov A., Bak P., Batazova M., Batrakov A., Boimelshtein Yu., Bolkhovityanov D., Eliseev A., Emanov F., Fatkin G., Korepanov A., Kulenko Ya., Kuznetsov G., Nikolaev I., Ottmar A., Pachkov A., Panov A., Pavlov O., Starostenko D. Performance of 2 MeV, 2 kA, 200 ns linear induction accelerator with ultra low beam emittance for X-ray flash radiography [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf. (IPAC 2011), 4-9 Sept. 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.1, 2011. - P.1906-1908.
- [465] Fatkin G., Bak P.A., Batrakov A.M., Logachev P.V., Panov A., Pavlenko A.V., Sazansky V.Ya. Control system for linear induction accelerator LIA-2: the structure and hardware [Electronic resource]. // 13th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2011), 10-14 Oct. 2011, WTC Grenoble, France: Contributions to the Proc. - S.1, 2011. - P.502-505.
- [466] Bryzgunov M., Buble A., Gosteev V., Panasyuk V., Parkhomchuk V., Reva V. Magnetic system of electron cooler for COSY [Electronic resource]. // Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 11), Sept. 12 - 16, 2011, Pansionat "Dubna", Alushta, Ukraine. - S.1, 2011. - P.114-117. [<http://www.JACoW.org>].
- [467] Bryzgunov M.I., Buble A.V., Chekavinskiy V.A., Gusev I.A., Ivanov A.V., Kondaurov M.N., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Pureskin D.N., Putmakov A.A., Reva V.B., Senkov D.V., Skorobogatov D.N. Electron

- collector for 2 MeV electron cooler for COSY [Electronic resource]. // Workshop on Beam Cooling and Related Topics, Sept. 12 - 16, 2011, Pansionat "Dubna", Alushta, Ukraine. - S.I, S.a. - P.103-106.
- [468] Bryzgunov M., Bublely A., Ivanov A., Parkhomchuk V., Reva V., Kruchkov A. Electron GUN with variable beam profile for COSY cooler [Electronic resource] // Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 11), September 12 - 16, 2011, Pansionat "Dubna", Alushta, Ukraine. - S.I, 2011. - P.99-102.
- [469] Bocharov V.N., Bryzgunov M.I., Bublely A.V., Cheskidov V.G., Fedotov M.G., Parkhomchuk V.V., Reva V.B. System for measurement of magnetic field line straightness in solenoid of electron cooler for COSY [Electronic resource]. // Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 11), Sept. 12 - 16, 2011, Pansionat "Dubna", Alushta, Ukraine. - S.I, 2011. - P.107-110.
- [470] Reva V.B., Alinovsky N., Batrakov A.M., Bedareva T.V., Bekhtenev E.A., Belikov O.V., Bocharov V.N., Borodich V.V., Bryzgunov M.I., Bublely A.V., Chekavinskiy V.A., Cheskidov V.G., Dovzhenko B.A., Erokhin A.I., Fatkin G.A., Fedotov M.G., Goncharov A.D., Gorchakov K.M., Gosteev V.K., Gusev I.A., Ivanov A.V., Karpov G.V., Koisin Yu.I., Kondaurov M.N., Kryuchkov A.M., Lisitsyn A.D., Lopatkin I.A., Mamkin V.R., Medvedko A.S., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Poletaev I.V., Polukhin V.A., Protopopov A.Yu., Pureskin D.N., Putnikov A.A., Semenov E.P., Senkov D.V., Skorobogatov D.N., Zapiatkin N.P. The first commission results of the high voltage magnetized cooler for COSY [Electronic resource]. // Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 11), Sept. 12 - 16, 2011, Pansionat "Dubna", Alushta, Ukraine. - S.I, 2011. - P.37-42.
- [471] Dietrich J., Kamerdzhev V., Bryzgunov M.I., Goncharov A.D., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Skorobogatov D.N. Progress of the 2 MeV electron cooler development for COSY-Julich/HESR [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf., (IPAC 2011), 4-9 September, 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.3427-3429. [<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2011/papers/thps002.pdf>].
- [472] Dietrich J., Kamerdzhev V., Bryzgunov M.I., Goncharov A.D., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Skorobogatov D.N. Status of 2 MeV electron cooler for COSY - Julich/HESR [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conf., March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.1918-1920.
- [473] Parkhomchuk V.V., Reva V.B. The advance technology extraction for therapy ions beam from carbon storage ring with electron cooling [Electronic resource]. // Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 11), Sept. 12 - 16, 2011, Pansionat "Dubna", Alushta, Ukraine. - S.I, 2011. - P.43-47.
- [474] Пархомчук В.В. Открытые вопросы в динамике охлажденных пучков. // IX Межд. семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В.П.Саранцева, 17 - 21 сентября 2011, Алушта, Украина.
- [475] Пархомчук В.В., Растигеев С.А. Селекция ионов в ускорительном масс-спектрометре ИЯФ СО РАН. // IX Межд. семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В.П.Саранцева, 17-21 сентября 2011, Алушта, Украина.
- [476] Rastigeev S.A., Frolov A.R. Goncharov A.D., Klyuev V. F., Konstantinov E.S., Kutnykova L.A., Parkhomchuk V.V., Petrozhitskii A.V. Development of the BINP AMS complex at CCU SB RAS. // XXII Межд. семинар по ускорителям заряженных частиц, 27-28 октября 2011, ИЯФ, Новосибирск. (will be published "Problems of Atomic Science and Technology" (VANT)). [<http://www.kipt.kharkov.ua/conferences/ihepnp/2011/iwcpa/index.html>].
- [477] Biryuchevsky Yu.A., Gorniker E.I., Kendjebulatov E.K., Krutikhin S.A., Kurkin G.Ya., Petrov V.M., Pilan A.M. Status of 174 MHz RF system for BEP. // XXII Intern. Workshop on Charged Particle Accelerators, September 22 - 28, 2011, Alushta, Ukraine.
- [478] Белов С.Д., Алешаев А.Н., Козак В.Р., Пискунов Г.С., Тарарышкин С.В. Проблемы управления электрофизическими установками как предпосылка создания оригинальных ЭВМ. Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН Новосибирск. // Межд. конференция "Развитие вычислительной техники и ее программного обеспечения в России и странах бывшего СССР" (SORUCOM-2011), 12-16 сентября 2011, НовГУ, Великий Новгород.
- [479] К.В. Лотов, В.И. Маслов, И.Н. Онищенко. Длинная последовательность релятивистских электронных сгустков как драйвер в кильватерном ускорении заряженных частиц в плазме. // XXXVIII Междунар. Звенигородская конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 2011. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН". - С.315. [Электронный ресурс: С.Ту 2-05].
- [480] Xia G., Caldwell A., Lotov K., Pukhov A., Assmann R., Zimmermann F., Huang C., Vieira J., Lopes N., Fonseca R.A., Silva L.O., An W., Joshi C., Mori W., Lu W., Muggli P. A proposed experimental test of proton-driven plasma wakefield acceleration based on CERN SPS [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conference, March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.718-720.
- [481] Lotov K.V. Self-organization of long proton beams in plasma wakefield accelerator. // Laser and Plasma Accelerator Workshop 2011, Shanghai & Wuzhen, China, 2011. - Abstracts.
- [482] Muggli P., Lotov K., Yakimenko V., Assmann R., Zimmermann F., Pukhov A., Silva L.O., Fonseca R.A.,

- Lopes N.C., Russo C., Vieira J.M., Huang C., Caldwell A., Xia G., An W., Joshi C., Lu W., Mori W. Proton-driven plasma wakefield acceleration experiments at CERN. // Intern. Particle Accelerator Conference 2011 (IPAC-2011), September 4-9, 2011, San Sebastian, Spain. - Abstracts, p.WEPZ037.
- [483] Borodin A.V., Esaulkov M.N., Frolov A.A., Kotelnikov I.A., Kuritsin I.I., Shkurinov A.P. Generation and detection of broadband THz radiation from the optical breakdown plasma: from basic mechanisms to applications. // 19th Intern. Conf. on Advanced Laser Technologies (ALT'11), Golden Sands, Bulgaria, 3 - 8 Sept. 2011: Book of Abstr. - Sofia: Inst. of Electronics Bulg. Acad. of Sciences, 2011. - P.100.
- [484] Borodin A.V., Esaulkov M.N., Kuricyn I.I., Kotelnikov I.A., Shkurinov A.P. Role of the field ionization in generation and polarization of broadband terahertz radiation from optical breakdown plasma. // 19th Intern. Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'11), Golden Sands, Bulgaria, 3 - 8 Sept. 2011. - Book of Abstracts. - Sofia: Inst. of Electronics Bulg. Acad. of Sciences, 2011.- P.145-146.
- [485] Taskaev S., Aleynik V., Burdakov A., Ivanov A., Kuznetsov A., Makarov A., Sorokin I. Vacuum-insulation tandem accelerator for boron neutron capture therapy [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conference (IPAC 2011), 4-9 September, 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.3615-3617.
- [486] Aleynik V., Bayanov B., Burdakov A., Kasatov D., Makarov A., Sinitskiy S., Schudlo I. and Taskaev S. New technical solution for using the time-of-flight technique to measure neutron spectra. The front edge of BNCT development. // Proc. of 6th Young Reseachers Boron Neutron Capture Therapy Meeting, December 4-8, 2011, Hsinchu, Taiwan (R.O.C). - P.152-157.
- [487] Listopad A., Davydenko V., Ivanov A., Mishagin V., Coenen J., Savkin V., Shulzhenko G. and Uhlemann R. Use of focusing multi-slit ion optical system at the diagnostic neutral beam injector RUDI. // 14th Intern. Conference on Ion Sources, 12-16 September, 2011, Giardini Naxos, Italy. - Book of Abstracts, p.96.
- [488] Deichuli P.P., Davydenko V.I., Belov V.P., Gorbovsky A.I., Dranichnikov A.N., Ivanov A.A., Sorokin A.V., Mishagin V.V., Abdrashitov A.G., Kolmogorov V.V., Kondakov A.A. Commissioning of heating neutral beams for COMPASS-D tokamak. // 14th Intern. Conference on Ion Sources, 12-16 September, 2011, Giardini Naxos, Italy. - Book of Abstracts, p.183.
- [489] Davydenko V.I., Ivanov A.A. Thermal regime of LaB6 of plasma linear device. // 2nd Intern. Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research, 19-21 September 2011, Jülich, Germany. [http://www2.fz-juelich.de/ief/ief-4/_pmif/abstracts/pdf/Abstracts_PMIF_2011.pdf].
- [490] Багрянский П.А., Беклемишев А.Д., Зайцев К.В., Коржавина М.С., Лизунов А.А., Максимов В.В., Мурахтин С.В., Пинженин Е.И., Приходько В.В., Пушкарёва А.Н., Савкин В.Я., Солдаткина Е.И., Соломахин А.Л. Обзор результатов по изучению удержания плазмы в газодинамической ловушке. [Электронный ресурс] // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.35. [Электронный ресурс. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.МУ 2 - 01].
- [491] Соломахин А.Л., Багрянский П.А., Иваненко С.В., Квашнин А.Н., Коваленко Ю.В., Лизунов А.А., Савкин В.Я., Хильченко А.Д. Многоканальный дисперсионный интерферометр для контроля плотности и положения плазмы. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14 - 18 февр. 2011, - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.40. [Электронный ресурс. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.МУ 2 - 07].
- [492] Львовский А.В., Багрянский П.А., Квашнин А.Н., Приходько В.В., Соломахин А.Л., Хильченко А.Д. Изучение удержания плазмы в ГДЛ в экспериментах с компактным пробкотроном при помощи дисперсионного интерферометра. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14 - 18 февр. 2011, - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.51. [Электронный ресурс. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.МС 1 - 05].
- [493] Пинженин Е.И., Иванов А.А., Максимов В.В., Пчеляков О.П., Тишковский Е.Г., Чистохин И.Б. Прямая регистрация низкоэнергетических частиц линейкой лавинных диодов для установки ГДЛ. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14 - 18 февр. 2011.- М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.48. [Электронный ресурс. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.МС 1 - 02].
- [494] Бреднихин С.А., Кардапольцев Л.В., Иванов А.А., Приходько В.В., Фролов С.А., Юров Д.В. Моделирование плазменных и нейтронных процессов в ядерно-термоядерной системе на основе ГДЛ. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14 - 18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.36. [Электронный ресурс. - М. ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.МУ 2 - 03].
- [495] Бреднихин С.А., Фролов С.А., Лежнин С.И., Анিকেев А.В., Багрянский П.А., Приходько В.В., Юров Д.В. Моделирование ядерно термоядерной системы с источником нейтронов на основе газодинамической ловушки. // 7-я Международная научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». // Сб. тезисов докладов, 17 - 20 мая 2011, Подольск, Россия. - Изд-во ОАО ОКБ «Гидропресс», 2011. - С.31.

- [496] Юров Д.В., Иванов А.А., Приходько В.В. Ноль-мерная модель эволюции плазмы в ГДЛ. // Тез. докладов XI Всероссийской школы-конференции молодых учёных «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидродинамики», 17 - 19 октября 2010, Новосибирск. - С.108.
- [497] Аникеев А.В. Оптимизация нейтронного источника на основе газодинамической ловушки для трансмутации долгоживущих радиоактивных отходов. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14 - 18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.99. [Электронный ресурс. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.МС 2 - 18].
- [498] 228. Gaspodchikov E.D., Shalashov A.G., Smolyakova O.B., Bagryansky P.A., Malygin V.I., Gorbatushkov V.N., Amirov V.Kh., Thumm M. Design of auxiliary ECR heating system for the Gas Dynamic Trap. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications. // 8th Intern. Workshop, July 9-16, 2011, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia.- Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011. - P.175-176.
- [499] Bagryansky P.A., Gaspodchikov E.D., Shalashov A.G., Smolyakova O.B., Malygin V.I., Gorbatushkov V, Amirov V.Kh., Thumm M. Design of auxiliary ECR ting system for the Gas Dynamic Trap. // 38th EPS Conference on Plasma Physics, June 27 - July 1, 2011, Strasbourg, France. - Report PD2.04.
- [500] Anikeev A.V. Optimisation of the neutron source based on Gas Dynamic Trap for transmutation of radioactive wastes. // Workshop on Fusion for Neutrons and Sub-Critical Nuclear Fission (FUNFI), September 12-15, 2011, Villa Monastero Varenna (Lecco), Italy,1 (to be publ.: Proc. of the Am. Inst. of Physics).
- [501] Anikeev A.V. The Plasma neutron source as a driver in a sub-critical reactor. // Abstracts of Humboldt-Kolleg "Cooperation and Networking of Universities and Research Institutes - study by doing research", 6-10 October 2011, Chieinru, Moldova.
- [502] Скляров В.Ф., Аржанников А.В., Бурдаков А.В., Кузнецов С.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л. Исследование эмиссии субмиллиметрового электромагнитного излучения при турбулентном нагреве плазмы на установке ГОЛ-3. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.49.
- [503] Иванцовский М.В., Бурдаков А.В., Вячеславов Л.Н., Иванов И.А., Касатов А.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Попов С.С., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л. Измерение динамики немаксвелловской функции распределения электронов в различных пространственных точках на установке ГОЛ-3. [Электронный ресурс]. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.53. [Электронный ресурс: М. ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.МС 1 - 07].
- [504] Сорокина Н.В., Бурдаков А.В., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л., Степанов В.Д. Исследование пространственной структуры плазмы на установке ГОЛ-3 с помощью изображающего ВУФ спектрометра. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14 - 18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.67.
- [505] Касатов А.А., Попов С.С. Импульсный источник света с гладким спектром на основе ксеноновой лампы для калибровки системы томсоновского рассеяния. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.214. [Электронный ресурс. М. ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.ПС 1 - 16].
- [506] Куркучев В.В., Кандауров И.В., Трунев Ю.А. Мультиапертурный источник электронного пучка с дуговым плазменным эмиттером во внешнем магнитном поле. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.321. [Электронный ресурс. М. : ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - С.ТС 1 - 05].
- [507] Астрелин В.Т., Багрянский П.А., Карпов И.Е., Трунев Ю.А. Характеристики электронного пучка, генерируемого в диоде с потоком анодной плазмы, налетающим на накаливаемый катод. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14-18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.324. [Электронный ресурс. М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.ТС 1 - 08].
- [508] Авроров А.П., Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Быков П.В., Деревянкин Г.Е., Кандауров И.В., Капитонов В.А., Куркучев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л., Трунев Ю.А., Яровой В.А. Прототип источника суб-миллисекундного электронного пучка для установки ГОЛ-3. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14 - 18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.325. [Электронный ресурс. М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011.- С.ТС 1 - 09].
- [509] Пурьга Е.А., Иванова А.А., Иваненко С.В., Квашнин А.Н., Хильченко А.Д., Вячеславов Л.Н. Система регистрации данных для диагностики лазерного рассеяния. // Тез. докл. XXXVIII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике и УТС, Звенигород, 14 - 18 февр. 2011. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2011. - с.54-56.
- [510] Суляев Ю.С., Пурьга Е.А., Хильченко А.Д., Квашнин А.Н., Полосаткин С.В., Ровенских А.Ф., Бурдаков

- А.В. Универсальный спектрометр термоядерных нейтронов на основе регистратора ADC 12500. // Тезисы докладов XIV Всероссийской конференции "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород. - С.69-70.
- [511] Судников А.В., Бурдаков А.В., Иванов И.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Ровенских А.Ф., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Сеницкий С.Л., Сорокина Н.В., Суляев Ю.С. Исследование МГД-активности плазмы в установке ГОЛ-3. // Тезисы докладов XIV Всероссийской конференции «Диагностика высокотемпературной плазмы», Звенигород. - С.115-116.
- [512] Бурмасов В.С., Бобылев В.Б., Иванова А.А., Иваненко С.В., Касатов А.А., Касатов Д.А., Кругляков Э.П., Куклин К.Н., Попов С.С., Поступаев В.В., Пурьга Е.А., Ровенских А.Ф., Скляр В.Ф. ИК интерферометр для исследования субтермоядерной плазмы в многопробочной ловушке ГОЛ-3. // Тезисы докладов XIV Всероссийской конференции «Диагностика высокотемпературной плазмы», Звенигород. - С.117-118.
- [513] Зубарев Д.В., Квашнин А.Н., Моисеев Д.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Хильченко А.Д., Хильченко В.А.. Система синхронизации установки ГОЛ-3. // Тезисы докладов XIV Всероссийской конференции «Диагностика высокотемпературной плазмы», Звенигород. - С.121-122.
- [514] Аржаников А.В., Бурдаков А.В., Вячеславов Л.Н., Иванцовский М.В., Касатов А.А., Кузнецов С.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Поступаев В.В., Попов С.С., Сеницкий С.Л., Скляр В.Ф. Диагностический комплекс для исследований генерации субтерагерцового излучения при пучково-плазменном взаимодействии на установке ГОЛ-3. // Тез. докладов XIV Всероссийской конференции «Диагностика высокотемпературной плазмы», Звенигород. - С.125-126.
- [515] Beklemishev A., Astrelin V., Burdakov A., Ivanov A., Ivanov I., Postupaev V., Sinitsky S. Fusion prospects of axisymmetric traps with multi-mirror end plugs. // 38th EPS Conference on Plasma Physics, June 27 - July 1, 2011, Strasbourg, France. - [<http://ocs.ciemat.es/EPS2011PAP/pdf/P1.045.pdf>].
- [516] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Kalinin P.V., Ivanov I.A., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Popov S.S., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Stepanov V.D., Sulyaev Yu.S., Thumm M.K.A., Vyacheslavov L.N.. Subterahertz electromagnetic emission of strong turbulent plasma driven by high current REB. // 38th EPS Conference on Plasma Physics, June 27 - July 1, 2011, Strasbourg, France. - [<http://ocs.ciemat.es/EPS2011PAP/pdf/P2.006.pdf>].
- [517] A.V. Burdakov, A.A. Ivanov, E.P. Kruglyakov. Study of high- β plasma stability and transverse losses in the experiments on modern magnetic mirrors. // 38th EPS Conference on Plasma Physics, Strasbourg, June 27 - July 1, 2011, France. - [<http://ocs.ciemat.es/EPS2011PAP/pdf/P2.011.pdf>].
- [518] Liu D., Almagri A.F., Anderson J.K., Belykh V.V., Chapman B.E., Davydenko V.I., Deichuli P., Hartog D.J. Den, Eilerman S., Fiksel G., Forest C.B., Ivanov A.A., Nornberg M.D., Polosatkin S.V., Sarff J.S., Stupishin N. and Waksman J. Fast ion confinement studies in the MST reversed field pinch. // 38th EPS Conference on Plasma Physics, June 27 - July 1, 2011, Strasbourg, France. - P2.101. [<http://ocs.ciemat.es/EPS2011PAP/pdf/P2.101.pdf>].
- [519] Postupaev V.V., Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kuklin K.N., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Sorokina N.V., Sudnikov A.V., and Vyacheslavov L.N. Advances in plasma heating and confinement in multiple-mirror trap GOL-3. // 38th EPS Conference on Plasma Physics, June 27 - July 1, 2011, Strasbourg, France. - [<http://ocs.ciemat.es/EPS2011PAP/pdf/P5.044.pdf>].
- [520] Ginzburg N.S., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Sinitsky S.L., Thumm M. Powerful masers and lasers with two-dimensional distributed feedback. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011. - P.57-58.
- [521] Kalinin P.V., Arzhannikov A.V., Kuznetsov S.A., Sinitsky S.L., Ginzburg N.S., Malkin A.M., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Zaslavsky V.Yu. Short-wavelength tunable Bragg reflectors based on coupling of propagating and cutoff waves: modeling and "cold" tests. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011. - P.86-87.
- [522] Sinitsky S.L., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Ginzburg N.S., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Stepanov V.D., Thumm M., Zaslavsky V.Yu. Planar FEM driven by two microsecond sheet E-beams. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011.- P.131-132.
- [523] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Stepanov V.D., Sulyaev Yu.S., Thumm M.K.A., Vyacheslavov L.N. Subterahertz generation by magnetized plasma at two-stream instability of

- high current 1-MeV REB. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011.- P.209-210.
- [524] Kuznetsov S.A., Arzhannikov A.V., Paulish A.G., Gelfand A.V., Lazorskiy P.A. Ultra-thin submillimeter wave absorbers for bolometric applications. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011.- P.237-238.
- [525] Sadykov V.A., Usoltsev V.V., Ereemeev N.F., Salanov A.N., Mezentseva N.V., Kharlamova T.S., Pavlova S.N., Bobrenok O.F., Ulihin A.S., Uvarov N.F., Smorygo O.L., Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Thumm M.K.A. Microwave sintering of functional layers in design of planar solid oxide fuel cells. // Strong microwaves and terahertz waves: sources and applications: 8th Intern. Workshop, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia, July 9 - 16, 2011: Proc. - Nizhny Novgorod: Inst. of Appl. Physics RAS, 2011. - P.295-296.
- [526] Beklemishev A., Anikeev A., Burdakov A., Ivanov A., I. Ivanov, Postupaev V and Sinitsky S. GDT-based Neutron Source with Multiple-mirror End Plugs. // Workshop on Fusion for Neutrons and Sub-Critical Nuclear Fission, Villa Monastero Varenna (Lecco), Italy, September 12-15, 2011 (to be published in Proc. of the Am. Inst. of Physics).
- [527] Liu D., Almagri A.F., Anderson J.K., Den Hartog D.J., Eilerman S., Nornberg M.D., Sarff J.S., Waksman J., Belykh V.V., Deichuli P., Davydenko V.I., Ivanov A.A., Polosatkin S., Stupishin N. Studies of fast ion confinement in the MST Reversed Field Pinch. // Bulletin of the American Physical Society. - DPP11 Meeting of the American Physical Society, BAPS.2011.DPP.PO4.3, 2011.
- [528] S. Eilerman, A.F. Almagri, J.K. Anderson, D.J. Den Hartog, S.T.A. Kumar, D. Liu, R.M. Magee, M.D. Nornberg, J. Waksman, V.V. Belykh, S. Polosatkin, J. Titus, G. Fiksel. Time-resolved measurements of the energetic ion distribution in MST. // Bulletin of the American Physical Society. - DPP11 Meeting of the American Physical Society, BAPS.2011.DPP.BP9.80, 2011.
- [529] S. Korepanov, R. Klary, A. Smirnov, S. Dettrick, S. Murakhtin, S. Polotkin. Fast ion diagnostics for the C-2 experiment. // Bulletin of the American Physical Society. - DPP11 Meeting of the American Physical Society, BAPS.2011.DPP.CP9.99, 2011.
- [530] Liu D., Almagri A.F., Anderson J.K., Chapman B.E., Davydenko V.I., Deichuli P., Hartog D.J. Den, Eilerman S., Fiksel G., Forest C.B., Ivanov A.A., Koliner J., Nornberg M.D., Polosatkin S.V., Sarff J.S., Stupishin N. and Waksman J. Neutral beam injection experiments in the MST reversed field pinch. // 12th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles and Instabilities. - P.123.
- [531] Shoshin A.A., Burdakov A.V., Ivanov I.A., Kuklin K.N., Polosatkin S.V., Postupaev V.V. Spectroscopic study of interaction of high power plasma stream with lithium-carbon composites at multimirror trap GOL-3. // 2nd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (PMIF 2011), 19-21 September 2011, Jülich, Germany. - Abstracts, P.20.
- [532] Судников А.В., Бурдаков А.В., Иванов И.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Ровенских А.Ф., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Синицкий С.Л. Исследование МГД-динамики плазмы при ее нагреве релятивистским электронным пучком. // Тезисы докладов V Всероссийской молодежной конференции «Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики», Москва, ФИАН. - С.103.
- [533] Брызгин А.А. Промышленные ВЧ ускорители электронов ИЛУ. Доклад на 8-й Межд. конференции «Ядерная и радиационная физика». // 20 - 23 сентября 2011, Алма Ата, Казахстан.
- [534] Burdakov A.V., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Popov A.A., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Stepanov V.D., Sulyaev Yu.S., Thumm M.K.A., Vyacheslavov L.N. Emission of submm-radiation by strong turbulent plasma at two-stream instability of high current REB. // 36th Intern. Conf. on Infrared. Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW - THz 2011), Houston, Texas, USA, Oct. 2 - 7, 2011. - Electronic resource S.I, 2011: [www.irmmw-thz2011.org, W5.45].
- [535] Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Sinitsky S.L., Kuznetsov S.A., Ginzburg N.S., Malkin A.M., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Zaslavsky V.Yu., Thumm M. Advanced Bragg structures based on coupling of propagating and cutoff waves: modeling and "cold" tests. // 36th Intern. Conf. on Infrared. Millimeter, and Terahertz Waves, Houston, Texas, USA, Oct. 2 - 7, 2011. - [www.irmmw-thz2011.org, Tu5.24].
- [536] Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Ginzburg N.S., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Thumm M., Zaslavsky V.Yu. Generation of MW radiation in a two-channel planar FEM with combined electrodynamic system. // 36th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2011), Houston, Texas, Oct. 2 - 7, 2011. - [www.irmmw-thz2011.org, Tu5.25].
- [537] Ginzburg N.S., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Sinitsky S.L., Thumm M. Powerful

- masers and lasers with two-dimensional distributed feedback. // 36th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW - THz 2011), Houston, Texas, USA, Oct. 2 - 7, 2011. - USA, 2011. - [www.irmmw-thz2011.org, Tu5.25].
- [538] Polosatkin S., Belykh V., Clary R., Davydenko V., Fiksel G., Ivanov A., Kapitonov V., Liu D., Mishagin V., and Tiunov M. Neutral particle analyzer for studies of fast ion population in plasma. // 2nd Intern. Conference: Frontiers in Diagnostic Technologies, 28 - 30 November 2011, Frascati, Italy. - N65, 2011.
- [539] Sulyaev Yu.S., Puryga E.A., Khilchenko A.D., Kvashnin A.N., Polosatkin S.V., Rovenskikh A.F., Burdakov A.V., Grishnyaev E.S. Multi-purpose fast neutron spectrum analyzer with real-time signal processing. // 2nd Intern. Conference: Frontiers in Diagnostic Technologies, 28 - 30 November 2011, Frascati, Italy. - N74, 2011.
- [540] Popov S.S., Burdakov A.V., Ivantsivsky M.V., Kasatov A.A., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Vyacheslavov L.N. 68-Two-pulse Thomson Scattering System for measurements of fast fluctuation of electron density profile in multi-mirror trap GOL-3. // 2nd Intern. Conference: in Diagnostic Technologies, 28 - 30 November 2011, Frascati, Italy. - N68, 2011.
- [541] Biagini M.E., SuperB Accelerators Team, Bogomiagkov A., Koop I., Levichev E., Nikitin S., Okunev I., Piminov P., Sinyatkin S., Shatilov D., Vobly P., et al. The SuperB project: accelerator status and R&D [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf., (IPAC 2011), 4 - 9 Sept. 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - Proc. S.I, 2011. - P.3684-3686. [THPZ003].
- [542] Rogovsky Yu.A., Berkaev D.E., Koop I., Kyrpotin A.N., Nesterenko I., Romanov A.L., Shatunov Y.M., Shwartz D.B. Beam measurements with visible synchrotron light at VEPP-2000 collider. // [Electronic resource] 10th European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators (DIPAC 2011), Hamburg, Germany, May 16 - 18, 2011. - Proc.- S.I, 2011.- P.140-142.
- [543] Rogovsky Yu.A., Nesterenko I. Calibration of the electrostatic beam position monitors for VEPP-2000. // [Electronic resource] DIPAC 2011: 10th European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators (DIPAC 2011), Hamburg, Germany, May 16 - 18, 2011. - Proc.- S.I, S.a. 2011.- P.68-70.
- [544] Rogovsky Yu.A., Bekhtenev E.A. Pickup beam measurement system at the VEPP-2000 collider. E.A. // [Electronic resource] 10th European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators (DIPAC 2011), Hamburg, Germany, May 16 - 18, 2011. - Proc.- S.I, 2011.- P.203-205.
- [545] Zolkin T., Koop I., Perevedentsev E. Numerical studies of non-linear dynamics in BEP [Electronic resource]. // 2011 Particle Accelerator Conference, March 28 - April 1, 2011, New York, USA. - S.I, 2011. - P.1636-1638.
- [546] Berkaev D., Kirpotin A., Koop I., Lysenko A., Nesterenko I., Otboev A., Perevedentsev E., Rogovsky Y., Romanov A., Shatunov P., Shatunov Yu., Shwartz D., Skrisky A., Zemlyansky I. Round beam collisions at VEPP-2000 [Electronic resource]. // 2nd Intern. Particle Accelerators Conf., (IPAC 2011), 4-9 September, 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain. - S.I, 2011. - P.1926-1930.
- [547] Shatunov Yu.M. Round beam collisions at VEPP-2000. Proc. of Intern. Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi (PHIPSI11), September 19 - 24, 2011, BINP, Novosibirsk.
- [548] Кооп И.А. Экспериментальное и теоретическое исследование эффектов встречи круглых пучков. // Четвертые черенковские чтения, Москва, ФИАН, 12 апреля 2011.
- [549] Кооп И.А. Экспериментальное исследование эффектов встречи круглых пучков. // IX Международный семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В.П.Саранцева, 17-21 сентября 2011, Алушта, Украина.
- [550] Куксанов Н.К., Фадеев С.Н., Голубенко Ю.И., Когут Д.А., Корчагин А.И., Лаврухин А.В., Немытов П.И., Салимов Р.А., Домаров Е.В. Развитие модельного ряда и повышение эксплуатационных характеристик ускорителей ЭЛВ. // XXII Международный семинар по ускорителям заряженных частиц, 22-28 сентября 2011, Алушта, Украина, материал сдан в публикацию 23 сентября 2011.
- [551] Голубенко Ю.И., Когут Д.А., Куксанов Н.К., Немытов П.И., Чакин И.В. Информационное измерительное сопровождение ускорителей электронов ЭЛВ и сопутствующего технологического оборудования. // XXII Международный семинар по ускорителям заряженных частиц, 22-28 сентября 2011, Алушта, Украина, материал сдан в публикацию 23 сентября 2011.
- [552] Мержиевский Л.А., Карпов Е.В., Авсейко Е.О., Коробейников М.В., Штарклёв Е.А. Влияние ионизирующего излучения на механические свойства полимеров. // Труды V Российской научно-технической конференции "Ресурс и диагностика материалов и конструкции" (электронный ресурс), 25-29 апреля 2011, Екатеринбург. - Екатеринбург: ИМАШ УрО РАН, 2011. [Электрон. опич. диск, вкладка «Публикации»].
- [553] Мержиевский Л.А., Карпов Е.В., Авсейко Е.О., Коробейников М.В., Штарклёв Е.А. Влияние ионизирующего излучения на механические свойства полимеров. // Тезисы докл. V Российской научно-технической конференции "Ресурс и диагностика материалов и конструкции", 25-29 апреля 2011, Екатеринбург. - С.99.

- [554] Авсейко Е.О., Мержиевский Л.А., Карпов Е.В., Коробейников М.В., Штарклёв Е.А. Влияние облучения на механические свойства полимеров. // Тезисы докл. II Всероссийской конференции «Деформирование и разрушение структурно-неоднородных сред и конструкций», 10-14 октября 2011, Новосибирск.
- [555] Auslender V.L., Bryazgin A.A., Bezuglov V.V., Chernov K.N., Cheskidov V.G., Faktorovich B.L., Kuznetsov G.I., Korobeynikov M.V., Lukin A.N., Makarov I.G., Ostreiko G.N., Panfilov A.D., Podobaev V.S., Serdobintsev G.V., Shtarklev E.N., Sidorov A.V., Tarnetsky V.V., Tiunov M.A., Tkachenko V.O. Last results on 7.5-10 MeV High-Power accelerator ILU-14 for E-beam and X-ray processing. Poster paper. // Intern. Meeting on Radiation Processing (IMRP 2011), 13-16 June, 2011, Montreal, Canada.

ПРЕПРИНТЫ 2011

- 1 В.Е. Блинов, В.Г. Присекин. Исследование катодного старения и порога возникновения автоэмиссии с катодных проволочек в дрейфовых камерах. // Новосибирск. - 24с, Препринт: ИЯФ 2011-2.
- 2 Г.С. Виллевалльд, Т.А. Всеволожская, В.Н. Карасюк, Г.И. Сильвестров. Результаты измерений в элементах протонного синхротрона. // Новосибирск. - 20с, Препринт: ИЯФ 2011-5.
- 3 Д.Е. Беркаев, Е.В. Быков, В.Р. Козак, С.В. Тарарышкин. Измеритель временных интервалов. Новосибирск. - 16с, Препринт: ИЯФ 2011-6. //
- 4 И.И. Авербух, Ю.М. Глуховченко, В.В. Петров, В.Г. Ческидов. Ускоряющая система синхротрона Б-4. // Новосибирск. - 23с, Препринт: ИЯФ 2011-7. II.
- 5 V.V. Petrov, Yu.A. Pupkov. BINP testing of radiation resistance of the materials used for production of accelerator magnetic systems. Novosibirsk. - 28p, Preprint: Budker INP 2011-13.
- 6 Ю.А. Пупков, М. Кляйн, Д. Томмазини Модели дипольных магнитов для LHeC, CERN из анизотропной электротехнической сталию. // Новосибирск. - 26с, Препринт: ИЯФ 2011-14.
- 7 С.Ю. Таскаев. Ускорительная концепция нейтронозахватной терапии. I. Ускорители (обзор). // Новосибирск. - 21с, Препринт: ИЯФ 2011-15.
- 8 О.И. Лаврик, Н.А. Моор, Б.П. Толочко, Г.Н. Кулипанов. Белки – участники процессов репарации ДНК как важнейшие объекты для рентгеноструктурных исследований. // Новосибирск. - 15с, Препринт: ИЯФ 2011-17.
- 9 В.И. Алейник, А.А. Иванов, А.С. Кузнецов, И.Н. Сорокин. Статические высоковольтные процессы при работе ускорителя-гандема с вакуумной изоляцией. // Новосибирск. - 14с, Препринт: ИЯФ 2011-19.
- 10 А.Н. Алешаев, В.В. Анашин, О.В. Анчугов, А.М. Батраков, Е.А. Бехтенов, В.Е. Блинов, А.В. Богомятков, А.Е. Бондарь, Д.Б. Буренков, С.П. Васичев, В.Ф. Веремеенко, С.А. Глухов, Ю.М. Глуховченко, О.П. Гордеев, В.Н. Ерохов, В.Н. Жилич, А.И. Жмака, А.Н. Журавлев, Э.И. Зинин, В.В. Каминский, В.И. Каплин, С.Е. Карнаев, Г.В. Карпов, В.А. Киселев, В.Р. Козак, Г.И. Кузнецов, Г.Н. Кулипанов, Э.А. Купер, Г.Я. Куркин, Е.Б. Левичев, В.Р. Мамкин, А.С. Медведко, О.И. Мешков, А.И. Михайлов, Л.А. Мироненко, С.И. Мишнев, И.И. Морозов, Н.Ю. Мучной, В.В. Нейфельд, С.А. Никитин, И.Б. Николаев, Д.М. Николенко, В.К. Овчар, И.Н. Окунев, А.П. Онучин, В.В. Орешонок, В.Н. Осипов, В.В. Петров, В.М. Петров, П.А. Пиминов, О.А. Плотникова, А.В. Полянский, Ю.А. Пупков, В.В. Репков, Е.А. Ротов, В.К. Сандырев, В.В. Свищев, И.К. Седяров, А.Н. Селиванов, Е.А. Симонов, С.В. Синяткин, А.Н. Скринский, В.В. Смалюк, Е.В. Старостина, Д.П. Суханов, С.В. Тарарышкин, Ю.А. Тихонов, Д.К. Топорков, Г.М. Тумайкин, И.Ф. Утюпин, М.Г. Федотов, А.Д. Хильченко, В.М. Цуканов, В.П. Черепанов, И.Н. Чуркин, А.Г. Шапов, Д.Н. Шатилов, Д.А. Шведов, С.В. Шиянков, Е.И. Шубин. // Ускорительный комплекс ВЭПП-4. // Новосибирск. - Препринт: ИЯФ 2011-20.
- 11 П.М. Астигеевич, В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов, А.Ю. Барняков, К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин, Д.Е. Беркаев, В.Е. Блинов, А.Г. Богданчиков, А.А. Ботов, Д.А. Букин, А.В. Васильев, В.М. Весенев, Е.А. Власенко, В.Б. Голубев, К.А. Гревцов, Т.В. Димова, В.П. Дружинин, И.М. Землянский, Л.В. Кардапольцев, А.Н. Кирпотин, Д.П. Коврижин, И.А. Кооп, А.А. Король, С.В. Кошуба, Е.А. Кравченко, А.Ю. Кульпин, А.П. Лысенко, К.А. Мартин, И.Н. Нестеренко, А.Е. Образовский, А.П. Онучин, Е.В. Пахтусова, Е.А. Переведенцев, Ю.А. Роговский, А.Л. Романов, С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, А.А. Сироткин, К.Ю. Сковпень, А.Н. Скринский, И.К. Суринов, А.И. Текутьев, Ю.А. Тихонов, Ю.В. Усов, А.Г. Харламов, П.Ю. Шатунов, Ю.М. Шатунов, Д.Б. Шварц, Д.А. Штоль, А.Н. Шукаев. Начало экспериментов с детектором СНД на коллайдере ВЭПП-2000. // Новосибирск. - Препринт: ИЯФ 2011-21 (40с).
- 12 М.Г. Козлов, А.В. Резниченко, В.С. Фадин. Импакт-фактор для рождения глюона в мультиреджевской кинематике в следующем за борновским приближении. // Новосибирск. - 35с, Препринт: ИЯФ 2011-23.

- 13 М.Г. Козлов, А.В. Резниченко, В.С. Фадин. Проверка условия реджезации глюона в следующем за главным порядке. Глюонная часть. // Новосибирск. - 31с, Препринт: ИЯФ 2011-24.
- 14 S.V. Miginsky. An Effective Numerical Scheme for Parabolic Partial Differential Equations. // Novosibirsk. - 14p, Preprint: Budker INP 2011-25.
- 15 V.S. Fadin, R. Fiore, A.V. Grabovsky, A. Papa. Transfer of gauge invariant operators from complete to Möbius representation and vice versa. // Novosibirsk. - 20p, Preprint: Budker INP 2011-27.
- 16 В.В. Анашин, К.В. Золотарёв, В.Е. Панченко, С.В. Хрущёв. Бериллиевый приёмник СИ из сверхпроводящего поворотного магнита 8.5 Тл накопителя 2.2 ГэВ / 1 А. // Новосибирск. - 15с, Препринт: ИЯФ 2011-29.
- 17 А.Е. Бондарь, В.С. Воробьев, А.О. Полуэктов. Квантовые корреляции $D^0\bar{D}^0$ в исследовании СР-нарушения В- и D-мезонов. // Новосибирск - 38с, Препринт ИЯФ 2011-30.

* * *

- 18 A.G. Grozin, A.V. Kotikov. HQET heavy-heavy vertex diagram with two velocities. // arXiv:1106.3912 [hep-ph].
- 19 Zhiron O.V., Shepelyansky D.L. Wigner crystal in snaked nanochannels: outlook. // Proc. of ECRYS-2011, August 15-27, Cargese, France. E-print: arXiv:1110.1812v1 [cond-mat.str-el] (2011);
- 20 Zhiron O.V., Shepelyansky D.L. Wigner crystal in snaked nanochannels. // E-print: arXiv:1102.1277v1 [cond-mat.mes-hall] (2011).
- 21 V. Lotov. Optimum angle for side injection of electrons into linear plasma wakefields. // E-print: arXiv:1109.6081 [physics.acc-ph].
- 22 A. Caldwell, K.V. Lotov. Plasma Wakefield Acceleration with a Modulated Proton Bunch. // E-print: arXiv:1105.1292 [physics.acc-ph].
- 23 A.S. Arakcheev, K.V. Lotov. Analytical model of brittle destruction based on hypothesis of scale similarity. // E-print: arXiv:1105.1928 [physics.plasm-ph].
- 24 A. Pukhov, N. Kumar, T. Tuckmantel, A. Upadhyay, K. Lotov, P. Muggli, V. Khudik, C. Siemon, and G. Shvets. Phase velocity and particle injection in a self-modulated proton-driven plasma wakefield accelerator. // E-print: arXiv:1108.0071 [physics.plasm-ph].
- 25 K.Yu. Todyshev, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.Yu. Basok, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, D.N. Grigoriev, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnae, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, V.V. Kolmogorov, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.N. Kudryavtsev, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Leviceh, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Search for narrow resonances in e^+e^- annihilation between 1.85 and 3.1 GeV with the KEDR Detector. // E-Print: arXiv:1107.2824 [hep-ex].
- 26 V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.Yu. Basok, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnae, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Leviceh, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, A.I. Milstein, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S. G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, D.N. Shatilov, G.E. Pospelov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, B.A. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Measurement of J/ψ leptonic width with the KEDR detector. // E-print: arXiv:1110.0328 [hep-ex], 2011.

- 27 K.Yu. Todyshev, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.Yu. Basok, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, D.N. Grigoriev, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnaev, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, V.V. Kolmogorov, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.N. Kudryavtsev, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Measurement of $\psi(3770)$ parameters. // E-print: arXiv:1109.4205 [hep-ex]. 2011.
- 28 K.Yu. Todyshev, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.Yu. Basok, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, D.N. Grigoriev, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnaev, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, V.V. Kolmogorov, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.N. Kudryavtsev, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Measurement of main parameters of the $\psi(2S)$ resonance. // E-print: arXiv:1109.4215 [hep-ex]. Sep. 2011.
- 29 Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A. Infrared scintillation yield in gaseous and liquid argon. // E-print: arXiv:1102.1825, 2011.
- 30 Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Shemyakina E., Sokolov A., Akimov D., Alexandrov I., Breskin A. On the low-temperature performances of THGEM and THGEM/G-APD multipliers in gaseous and two-phase Xe. // E-print: arXiv:1103.6126, 2011.
- 31 Buzulutskov A., Advances in Cryogenic Avalanche Detectors (review). // [E-print: arXiv:1112.6153, 2011].
- 32 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Observation of J/ψ pair production in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // [arXiv:1109.0963].
- 33 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Search for the lepton number violating decays $B^+ \rightarrow \pi^- \mu^+ \mu^+$ and $B^+ \rightarrow K^- \mu^+ \mu^+$. // [arXiv:1110.0730].
- 34 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Absolute luminosity measurements with the LHCb detector at the LHC. // [arXiv:1110.2866].
- 35 R. Aaij, A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, A. Poluektov, L. Shekhtman, et al. (By LHCb Collab.). Measurement of the effective $B_s \rightarrow K^+ K^-$ lifetime. // [arXiv:1111.0521].
- 36 R. Aaij, A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, A. Poluektov, L. Shekhtman, et al. (By LHCb Collab.). Measurement of b hadron production fractions in 7 TeV pp collisions. // [arXiv:1111.2357].
- 37 R. Aaij, A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, A. Poluektov, L. Shekhtman, et al. (By LHCb Collab.). First observation of the decay $B_s^0 \rightarrow K^{*0} K^{*0}$. // [arXiv:1111.4183].
- 38 R. Aaij, A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, A. Poluektov, L. Shekhtman, et al. (By LHCb Collab.). Evidence for CP violation in time-integrated $D^0 \rightarrow h^- h^+$ decay rates. // [arXiv:1112.0938].
- 39 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Measurement of the CP violating phase ϕ_s in $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$. // [arXiv:1112.3056].
- 40 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Measurement of the CP-violating phase ϕ_s in the decay $B_s \rightarrow J/\psi \phi$. // [arXiv:1112.3183].
- 41 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Differential branching fraction and angular analysis of the decay $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$. // [arXiv:1112.3515].
- 42 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Measurement of the $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ oscillation frequency Δm_s in $B_s^0 \rightarrow D_s^- (3)\pi$ decays. // [arXiv:1112.4311].

- 43 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Measurement of charged particle multiplicities in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. // [arXiv:1112.4592].
- 44 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). First observation of $B_s \rightarrow J/\psi f'_2(1525)$ in $J/\psi K^+ K^-$ final states. // [arXiv:1112.4695].
- 45 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Measurement of mixing and CP violation parameters in two-body charm decays. // [arXiv:1112.4698].
- 46 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Measurement of b-hadron masses. // [arXiv:1112.4896].
- 47 Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny, Poluektov A., Shekhtman L., et al. (LHCb Collab.). Observation of X(3872) production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. // [arXiv:1112.5310].
- 48 Bodenstern S., Eidelman S., et al. Confronting electron-positron annihilation into hadrons with QCD: an operator product expansion analysis. // [arXiv:1110.2026], accepted by JHEP.
- 49 Adachi I., Aulchenko V., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N, Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). First observation of the P-wave spin-singlet bottomonium states $h_b(1P)$ and $h_b(2P)$. // [arXiv:1103.3419], accepted by Phys. Rev. Lett.
- 50 Staric M., Aulchenko V., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N, Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Search for CP violation in D meson decays to $\phi\pi^+$. [arXiv:1110.0694], accepted by Phys. Rev. Lett.
- 51 Hoi C.-T., Aulchenko V., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N, Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Evidence for direct CP violation in $B^{\pm} \rightarrow \eta h^{\pm}$ and observation of $B^0 \rightarrow \eta K^0$. // [arXiv:1110.2000], accepted by Phys. Rev. Lett.
- 52 Bondar A., Aulchenko V., Arinstein K., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N, Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Observation of two charged bottomonium-like resonances in (5S) decays. // [arXiv:1110.2251], accepted by Phys. Rev. Lett.
- 53 Aad G., ..., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Jet energy measurement with the ATLAS detector in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. // arxiv.org 1201.5595v1 [hep-ex]. Submitted to Eur. Phys. J. C, 9 p.
- 54 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Measurement of inclusive jet and dijet production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector. // arxiv.org 1112.6297 [hep-ex]. Submitted to Phys. Lett. B, 41p.
- 55 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for heavy vector-like quarks coupling to light generations in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // arXiv:1112.5755 [hep-ex]. Submitted to Phys. Lett. B, 7p.
- 56 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Observation of a new χ_b state in radiative transitions to Y(1S) and Y(2S) at ATLAS. // arXiv:1112.5154v4 [hep-ex]. ccepted by Phys. Rev. Lett, 4p.
- 57 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for first generation scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1112.4828 [hep-ex]; Phys. Lett. B, 709 (2012) 158-176, 8p.
- 58 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev

- G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Measurement of D^* meson production in jets from pp Collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS Detector. // arxiv.org 1112.4432.
- 59 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for Scalar Bottom Pair Production with the ATLAS Detector in pp Collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // arxiv.org 1112.3832.
- 60 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for Production of Resonant States in the Photon-Jet Mass Distribution using pp Collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV collected by the ATLAS Detector. // arxiv.org 1112.3580.
- 61 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for the Higgs boson in the $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l\nu l\nu$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1112.2577.
- 62 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for Extra Dimensions Using Diphoton Events in 7 TeV Proton-Proton Collisions with the ATLAS Detector. // arxiv.org 1112.2194.
- 63 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Measurement of the WZ Production Cross Section and Limits on Anomalous Triple Gauge Couplings in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS Detector. // arxiv.org 1111.5570. Accepted by Phys. Lett. B, 6p.
- 64 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for Diphoton Events with Large Missing Transverse Energy with 1 fb⁻¹ of 7 TeV Proton-Proton Collision Data with the ATLAS Detector. // arxiv.org 1111.4116. Accepted by Phys. Lett. B, 8p.
- 65 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for strong gravity signatures in same-sign dimuon final states using the ATLAS detector at the LHC. // arxiv.org 1111.0080. Accepted by Phys. Lett. B, 38p.
- 66 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Measurement of the production cross section for Z/γ^* in association with jets in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS Detector. // arxiv.org 1111.2690. Phys. Rev. D, 85 (2012) 032009, 48p.
- 67 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Kshort and Lambda production in pp interactions at $\sqrt{s}=0.9$ and 7 TeV measured with the ATLAS detector at the LHC. // arxiv.org 1111.1297. Phys. Rev. D, 85 (2012) 012001, 16p.
- 68 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Searches for supersymmetry with the ATLAS detector using final states with two leptons and missing transverse momentum in $\sqrt{s}=7$ TeV proton-proton collisions. // Phys. Lett. B, 709 (2012) 137-157, 10p. [arxiv.org 1110.6189].
- 69 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). A measurement of the

- material in the ATLAS inner detector using secondary hadronic interactions. // arxiv.org 1110.6191. JINST 7 (2012) P01013, 22p.
- 70 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Measurement of the ZZ production cross section and limits on anomalous neutral triple gauge couplings in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1110.5016. Phys. Rev. Lett., 108 (2012) 041804, 5p.
- 71 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Electron performance measurements with the ATLAS detector using the 2010 LHC proton-proton collision data. // arxiv.org 1110.3174. Accepted by Eur. Phys. J. C, 45p.
- 72 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Performance of the ATLAS Trigger System in 2010. // arxiv.org 1110.1530. Eur. Phys. J. C, 72 (2012) 1849, 50p.
- 73 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for squarks and gluinos using final states with jets and missing transverse momentum with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions. // arxiv.org 1109.6572. Accepted by Phys. Lett. B, 9p.
- 74 Aad G., ..., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Search for supersymmetry in final states with jets, missing transverse momentum and one isolated lepton in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions using 1 fb⁻¹ of ATLAS data. // arxiv.org 1109.6606. Phys. Rev. D, 85 (2012) 012006, 31p.
- 75 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the inclusive W⁺ and Z/gamma cross sections in the electron and muon decay channels in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1109.5141. Accepted by Phys. Rev. D, 43p.
- 76 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for new phenomena in ttbar events with large missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1109.4725. Phys. Rev. Lett., 108 (2012) 041805, 5p.
- 77 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for displaced vertices arising from decays of new heavy particles in 7 TeV pp collisions at ATLAS. // arxiv.org 1109.2242. Phys. Lett. B, 707 (2012) 478-496, 8p.
- 78 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the cross section for the production of a W boson in association with b-jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1109.1470. Phys. Lett. B, 707 (2012) 418-437, 10p.
- 79 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the cross-section for b-jets produced in association with a Z boson at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1109.1403. Phys. Lett. B, 706 (2012) 295-313, 8p.
- 80 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurements of the electron and muon inclusive cross-sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1109.0525. Phys. Lett. B, 707 (2012) 438-458, 25p.

- 81 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for new physics in the dijet mass distribution using 1 fb⁻¹ of pp Collision Data at $\sqrt{s} = 7$ TeV collected by the ATLAS Detector. // arxiv.org 1108.6311. Phys. Lett. B, 708 (2012) 37-54, 7p.
- 82 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the transverse momentum distribution of W Bosons in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS Detector. // arxiv.org 1108.6308. Phys. Rev. D, 85 (2012) 012005, 36p.
- 83 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the centrality dependence of the charged particle pseudorapidity distribution in lead-lead collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1108.6027. Accepted by Phys. Lett. B, 17p.
- 84 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the pseudorapidity and transverse momentum dependence of the elliptic flow of charged particles in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1108.6018. Phys. Lett. B, 707 (2012) 330-348, 39p.
- 85 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Performance of missing transverse momentum reconstruction in proton-proton collisions at 7 TeV with ATLAS. // arxiv.org 1108.5602. Eur. Phys. J. C, 72 (2012) 1844, 22p.
- 86 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for a heavy Standard Model Higgs boson in the channel $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4lqq$ using the ATLAS detector. // arxiv.org 1108.5064. Phys. Lett. B, 707 (2012) 27-45, 11p.
- 87 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. A measurement of the ratio of the W and Z cross sections with exactly one associated jet in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with ATLAS. // arxiv.org 1108.4908. Phys. Lett. B, 708 (2012) 221-240, 10p.
- 88 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the W to $\tau \nu$ cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS experiment. // arxiv.org 1108.4101. Phys. Lett. B, 706 (2012) 276-294, 8p.
- 89 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of the top quark pair production cross-section in the dilepton channel. // arxiv.org 1108.3699. Phys. Lett. B, 707 (2012) 459-477, 9p.
- 90 Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Measurement of isolated di-photon cross-section in pp collision at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // arxiv.org 1107.0581. Phys. Rev. D, 85 (2012) 012003, 15p.
- 91 A.V. Gramolin, J. Arrington, L.M. Barkov, V.F. Dmitriev, V.V. Gauzshtein, R.A. Golovin, R.J. Holt, V.V. Kaminsky, B.A. Lazarenko, S.I. Mishnev, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufelda D.M. Nikolenko, I.A. Rachek, R.Sh. Sadykov, Yu.V. Shestakov, V.N. Stibunov, D.K. Toporkov, H. de Vries, S.A. Zevakov, V.N. Zhilich. Measurement of the two-photon exchange contribution in elastic ep scattering at VEPP-3. // arXiv: 1112.5369v1 [nucl-ex] 22 Dec 2011.
- 92 Brambilla N., Eidelman S., Levichev E., et al. Heavy quarkonium: progress, puzzles, and opportunities. // E-print: arXiv:1010.5827 [hep-ph].

АВТОРЕФЕРАТЫ 2011

1. БЛИНОВ Владимир Евгеньевич. Измерение массы тау-лептона. // 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
2. БАТРАКОВ Александр Матвеевич. Аналого-цифровая аппаратура автоматизированных систем контроля и управления экспериментальными физическими установками. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора технических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
3. МУЧНОЙ Николай Юрьевич. Комптоновское рассеяние в прецизионных экспериментах на электрон-позитронных коллайдерах. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
4. НИКИТИН Сергей Алексеевич. Поляризованные пучки в прецизионных экспериментах на коллайдере ВЭПП-4М с детектором КЕДР. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
5. КУПЕР Константин Эдуардович. Развитие методик рентгеновской микроскопии и томографии на источнике синхротронного излучения ВЭПП-3. // 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
6. ШИЧКОВ Дмитрий Сергеевич. Комплекс программных средств систем автоматизации производства и контроля магнитных элементов ускорителей. // 01.04.01- приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
7. ГОЛЬДЕНБЕРГ Борис Григорьевич. Создание LIGA-технологического комплекса на источнике синхротронного излучения ВЭПП-3. // 01.04.01- приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
8. ЖУЛАНОВ Владимир Викторович. Регистрирующая аппаратура для исследования детонационных и ударно-волновых процессов с использованием синхротронного излучения 01.04.01- приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
9. НИКОЛЕНКО Антон Дмитриевич. Абсолютная калибровка детекторов в мягком рентгеновском диапазоне с использованием синхротронного излучения. // 01.04.01- приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
10. ШОШИН Андрей Алексеевич. Исследование взаимодействия мощного потока электронно-горячей плазмы с мишенями на многопробочной ловушке ГОЛ-3. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
11. ШТОЛЬ Дмитрий Александрович. Измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ в области энергии $\sqrt{s}=1.04 - 1.38$ ГэВ с детектором СНД на коллайдере ВЭПП-2М. // 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
12. РОМАНОВ Александр Леонидович. Настройка орбиты и электронно-оптической структуры накопителя ВЭПП-2000 методом матриц откликов. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
13. ШАТУНОВ Петр Юрьевич. Магнитная система накопителя с электрон-позитронными встречными пучками ВЭПП-2000. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

14. ЛЕВИЧЕВ Алексей Евгеньевич Ускоряющая структура с параллельной связью с волноводным возбуждающим резонатором. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
15. БУБЛЕЙ Александр Валентинович Установки электронного охлаждения с изменяемым профилем электронного пучка. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2011, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

Участие в конференциях

1. XXXVIII Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС, 14 - 18 февраля 2011, Звенигород, Россия.
2. VIII Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 1 - 4 марта 2011, Н.Новгород.
3. III Workshop on Nuclei and Mesoscopic Physics (WNMP11), March 5 - 9, East Lansing, USA.
4. 2011 Particle Accelerator Conference, March 28 - April 1, 2011, New York, USA.
5. Conference: Nuclear Physics in Astrophysics V, 3 - 8 April, 2011, Eilat, Israel.
6. V Российская научно-техническая конференция "Ресурс и диагностика материалов и конструкции", 25 - 29 апреля 2011, Екатеринбург, Россия.
7. Четвертые черенковские чтения, 12 апреля 2011, ФИАН, Москва.
8. International Conference: XVI SuperB General Meeting, April, 2011, Frascati, Italy.
9. 20th IMEKO TS2 Symposium on Photonics in Measurement (20th ISPM), May 16 - 18, 2011, Linz, Austria.
10. 10th European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators (DIPAC 2011), May 16 - 18, Hamburg, Germany.
11. 7-я Международная научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», 17 - 20 мая 2011, Подольск, Россия.
12. 19th International Workshop on Photon-Photon Collisions (PHOTON2011), May 22 - 27, 2011, SPA, Belgium.
13. International Conference: XVII SuperB Workshop and Kick off Meeting, May - June, 2011, Elba, Italy.
14. International Workshop: Low x Meeting, June 3-7, 2011, Santiago de Compostela, Spain.
15. International Meeting on Radiation Processing (IMRP 2011), June 13 - 16, 2011, Montreal, Canada.
16. XIV International Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron 2011), 13 - 17 June, 2011, Munich, Germany.
17. Ершовская конференция по информатике "Научоёмкое программное обеспечение", 27 июня - 1 июля 2011, Академгородок, Новосибирск, Россия.
18. 38th EPS Conference on Plasma Physics, June 27 - July 1, 2011, Strasbourg, France.
19. Workshop «ALICE Upgrade Forum», June, 2011, CERN, Switzerland.
20. 8th International Workshop, July 9 - 16, 2011, Nizhny Novgorod - St.-Peterburg, Russia.
21. XXI Europhysics Conference on High Energy Physics (EPS-HEP2011), 21 - 27 July, 2011, Grenoble, Rhones Alpes, France.
22. PANIC 11, 24 - 29 July, 2011, MIT, USA.
23. VI Научно-практическая конференция "Сверхкритические флюиды: фундаментальные основы, технологии, инновации", июль 2011, Листвянка, Россия.
24. Workshop «Posipol 2011», August 28 - 30, 2011, ИИЭП, Beijing, China.
25. 2nd International Conference on Micro-Pattern Gaseous Detectors, 29 August - 1 September 2011, Kobe, Japan.
26. 8th RD51 Collaboration Meeting, 2 - 3 September 2011, Kobe, Japan.
27. 19th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'11), 3 - 8 September, 2011, Golden Sands, Bulgaria.
28. 2nd International Particle Accelerators Conference (IPAC 2011), 4 - 9 September, 2011, Kursaal, San Sebastian, Spain.
29. 14th International Workshop on Advanced Computing and Analysis Techniques in Physics Research (ACAT2011), September 5 - 9, 2011, Uxbridge, London, UK.
30. GGI Workshop: High-Energy QCD after the Start of the LHC, September 11 - 30, 2011, Florence, Italy.
31. Workshop on Fusion for Neutrons and Sub-Critical Nuclear Fission, September 12 - 15, 2011, Villa Monastero Varenna (Lecco), Italy.
32. 14th International Conference on Ion Sources, 12 - 16 September, 2011, Giardini Naxos, Italy.

33. Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 11), September 12 - 16, 2011, Pansionat "Dubna", Alush-ta, Ukraine.
34. XIV International Workshop on Polarized Sources, Targets and Polarimetry, 12 - 16 September, 2011, St. Peters-burg, Russia.
35. Международная конференция "Развитие вычислительной техники и ее программного обеспечения в России и странах бывшего СССР" (SORUCOM-2011), 12-16 сентября 2011, НовГУ, Великий Новгород.
36. 22nd International Conference on Magnet Technology, 12 - 16 September, 2011, Marseille, France.
37. IX International Symposium (RREPS-11), September 12-16, 2011, Egham, United Kingdom.
38. IX Международный семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В.П.Саранцева, 17 - 21 сентября 2011, Алушта. Украина.
39. VII Всероссийская конференция по рентгеноспектральному анализу, 19 - 23 сентября 2011, Новосибирск, Россия.
40. X Российская конференция по физике полупроводников, 19 - 23 сентября 2011, Нижний Новгород.
41. Международная конференция "от Фи до Пси", 19 - 24 сентября 2011, ИЯФ СО РАН, Новосибирск, Россия.
42. 2-ая Международная школа "Нanomатериалы и нанотехнологии в живых системах. Безопасность и наномедицина", 19 - 24 сентября. 2011, пансионат "Заря", Московская обл., Россия.
43. 2nd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (PMIF 2011), 19-21 September 2011, Jülich, Germany.
44. 8-я Международная конференция, 20 - 23 сентября 2011, Алматы, Казахстан.
45. XXII Международный семинар по ускорителям заряженных частиц, 22 - 28 сентября 2011, Алушта, Украина.
46. International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2011), 26 - 30 September, 2011, Granada, Spain.
47. International Conference "1st SuperB Collaboration Meeting", September, 2011, London, Great Britain.
48. 36th International Conference on Infrared Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2011), October 2 - 7, 2011, Houston, Texas, USA.
49. 8 International Workshop of QWG, October 4-7, 2011, Darmstadt, Germany.
50. Humboldt-Kolleg "Cooperation and Networking of Universities and Research Institutes - study by doing re-search", 6-10 October 2011, Chieinru, Moldova.
51. 13th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALPCS 2011), 10 - 14 October, 2011, WTC Grenoble, France.
52. II Всероссийская конференция «Деформирование и разрушение структурно-неоднородных сред и конструкций», 10 - 14 октября 2011, Новосибирск, Россия.
53. XI Всероссийской школы-конференции молодых учёных «Актуальные вопросы теплофизики и физиче-ской гидродинамики», 17 - 19 октября 2010, Новосибирск, Россия.
54. XXII Международный семинар по ускорителям заряженных частиц, 27 - 28 октября 2011, ИЯФ, Ново-сибирск, Россия.
55. Экспериментальный семинар ИЯФ СО РАН, октябрь 2011, Новосибирск, Россия.
56. VIII Национальная конференция "Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнетивные технологии" (РСНЭ - НБИК 2011); Всесоюзное совещание по применению рентгеновских лучей для исследования материалов 14 - 18 ноября, 2011, Москва.
57. pp Научная сессия-конференция: секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 21 - 25 ноября 2011, ИТЭФ, Москва.
58. 2nd International Conference: Frontiers in Diagnostic Technologies, 28 - 30 November 2011, Frascati, Italy.
59. 6th Young Reseachers Boron Neutron Capture Therapy Meeting, December 4 - 8, 2011, Hsinchu, Taiwan.
60. XVIII научно-техническая конференция «Вакуумная наука и техника», 2011, Судак.
61. Laser and Plasma Accelerator Workshop 2011, Shanghai & Wuzhen, China, 2011.
62. 19th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'11), Golden Sands, Bulgaria.
63. XIV Всероссийской конференции "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород.
64. DPP11 Meeting of the American Physical Society, 2011, USA.
65. 12th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles and Instabilities.
66. V Всероссийской молодежной конференции «Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики», ФИАН, Москва. DPF-2011 Conference, August 8-13, 2011, Providence, Rhode Island, USA.

Соглашения о сотрудничестве между ИЯФ и зарубежными лабораториями

Название лаборатории		Область сотрудничества	Дата	Координаты
№	1	2	3	4
1	<i>Daresbury</i> <i>Англия</i>	Генерация и использование СИ.	1977	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>И. Мунро (Daresbury)</i>
2	<i>BESSY</i> <i>Германия</i>	Создание вигглеров для BESSY-2.	1993	<i>А. Скринский,</i> <i>Н. Мезенцев (ИЯФ);</i> <i>Э. Яшке (BESSY)</i>
3	<i>Иссл. центр</i> <i>Россендорф</i> <i>(Германия)</i>	Физические исследования источника нейтронов на базе магнитной ловушки.	1994	<i>Э. Кругляков,</i> <i>А. Иванов (ИЯФ);</i> <i>К. Ноак (Германия)</i>
4	<i>Ядерный центр</i> <i>"Карлсруэ"</i> <i>(Германия)</i>	1. Разработка концептуального проекта и базы данных для нейтронного источника на основе ГДЛ. 2. Моделирование процессов в диверторе ИТЕР.	1994	<i>Э. Кругляков,</i> <i>А. Иванов,</i> <i>А. Бурдаков (ИЯФ);</i> <i>Г. Кесслер (Германия)</i>
5	<i>GSI</i> <i>(Германия)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: электронное охлаждение, электрон-ионные коллайдеры.	1995	<i>Ю. Шатунов,</i> <i>В. Пархомчук (ИЯФ);</i> <i>Х. Эйкхоф (GSI)</i>
6	<i>DESY</i> <i>(Германия)</i>	Физика элементарных частиц, синхротронное излучение, физика и технология ускорителей, электроника и экспериментальное оборудование.	1995	<i>А. Скринский,</i> <i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>А. Вагнер,</i> <i>К. Шерф (DESY)</i>
7	<i>CIEMAT</i> <i>(Испания)</i>	Ускорительные технологии и физика плазмы.	2007	<i>Е. Левичев (ИЯФ);</i> <i>Ж. Рубио (CIEMAT)</i>
8	<i>CELLS</i> <i>(Испания)</i>	Сотрудничество в области использования нового оборудования для источников СИ.	2008	<i>Е. Левичев (ИЯФ),</i> <i>Джоан Бордас</i> <i>и Орпинелл (CELLS)</i>
9	<i>INFN</i> <i>(Италия)</i>	Разработка интенсивного источника радио-активных ионных пучков для экспериментов по физике ядра.	1984	<i>П. Логачев (ИЯФ);</i> <i>Л. Теккио (INFN)</i>
10	<i>Ун-т Милана</i> <i>(Италия)</i>	Теоретические и численные исследования динамического хаоса в классической и квантовой механике.	1991	<i>А. Скринский,</i> <i>В. Соколов (ИЯФ);</i> <i>Т. Монтегацца,</i> <i>Дж. Казати (Италия)</i>
11	<i>INFN-LNF</i> <i>(Италия)</i>	Разработка проекта коллайдера DAFNE-II	2004	<i>Е. Левичев (ИЯФ);</i> <i>С. Бискари (INFN-LNF)</i>
12	<i>Ун-т Падуи</i> <i>(Италия)</i>	Разработка криогенных детекторов для экспериментов по физике нейтрино.	2008	<i>Ю. Тихонов.</i> <i>А. Бондарь (ИЯФ);</i> <i>А. Гудлиелми (Италия)</i>
13	<i>Национальный</i> <i>ядерный центр.</i> <i>Парк ядерных</i> <i>технологий</i> <i>(Казахстан)</i>	Разработка и использование промышленных ускорителей, генерация и использование нейтронных пучков, разработка источников СИ, ВЧ-генераторов.	2007	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>К. Кадыржанов,</i> <i>А. Кусаинов</i> <i>(Казахстан)</i>

№	1	2	3	4
14	<i>Национальный ядерный центр. Национальный университет им. Аль-Фараби (Казахстан)</i>	Создание и развитие многоцелевого научно-исследовательского комплекса радиационных технологий и терагерцового излучения.	2009	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ); К. Кадыржанов, Б. Жумагулов (Казахстан)</i>
15	<i>Институт современной физики, Ланчжоу (КНР)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: электронное охлаждение, ВЧ-системы.	2000	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); С. Янг (КНР)</i>
16	<i>Компания Воер, г. Шеньжень (КНР)</i>	Использование электронного ускорителя ИЛУ-10, обмен специалистами, информацией и экспериментальным оборудованием.	2005	<i>А. Брызгин (ИЯФ); Лео Ли (КНР)</i>
17	<i>SINAP (КНР)</i>	Исследования в области промышленных электронных ускорителей.	2006	<i>А. Брызгин (ИЯФ); Ху Хонкью (КНР)</i>
18	<i>ИНЕР (КНР)</i>	Работа китайских учёных на установках ИЯФ, работа учёных из ИЯФ на установках ИНЕР.	2007	<i>А. Скринский (ИЯФ); Х. Чен (ИНЕР)</i>
19	<i>Центр индуст. и техн. кооперации с Россией и Белоруссией пров. Хейлуцзян (КНР)</i>	Обмен информацией о разработках ИЯФ и потребностях китайских предприятий в технологиях и продукции.	2009	<i>Д. Григорьев (ИЯФ); Чжан Хун-Вей (КНР)</i>
20	<i>POSTECH (Корея)</i>	Создание ускорителей пучков, дополнительных устройств, эксперименты по СИ.	1992	<i>А. Скринский, Н. Мезенцев (ИЯФ); Х. Ким (POSTECH)</i>
21	<i>KAERI (Корея)</i>	Создание ЛСЭ и ускорителя-рекуператора.	1999	<i>Н. Винокуров (ИЯФ); Б.С. Ли (KAERI)</i>
22	<i>BNL, Брукхевен (США)</i>	1. Измерение магнитной аномалии мюона. 2. Совместные работы по спину.	1991 1993	<i>Л. Барков (ИЯФ); Дж. Банс (BNL) Ю. Шатунов (ИЯФ); С. Озаки (BNL)</i>
23	<i>ANL, Аргонн (США)</i>	1. Эксперименты с поляризованной газовой мишенью. 2. Аппаратура для синхротронного излучения (СИ).	1988 1993	<i>Л. Барков (ИЯФ); Р. Холт (ANL) Г. Кулипанов, А. Скринский (ИЯФ); Шеной (США)</i>
24	<i>Ун-т Питтсбурга (США)</i>	Эксперименты на ВЭПП-2М и ф-фабрика.	1989	<i>С. Эйдельман, Е. Солодов (ИЯФ); В. Савинов (США)</i>
25	<i>Ун-т Дюка (США)</i>	Лазеры на свободных электронах.	1992	<i>Н. Винокуров (ИЯФ); Й. Ву (Duke)</i>
26	<i>BNL, Брукхевен (США)</i>	Сотрудничество по электрон-ионным коллайдерам.	1993	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); И. Бен-Зви (США)</i>
27	<i>FERMILAB (США)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: охлаждение, системы конверсии.	1995	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); О. Финли (FERMILAB)</i>
28	<i>FERMILAB (США)</i>	Обмен учёными и инженерами для проведения исследований.		<i>А. Скринский (ИЯФ); П. Оддоне (FERMILAB)</i>

№	1	2	3	4
29	<i>SLAC, Стэнфорд (США)</i>	Получение субмикронных пучков, получение интенсивных позитронных пучков, разработка элементов В-фабрики, детекторов, ВЧ-генераторов на базе магнитонов.	1994	<i>А. Скринский (ИЯФ); Персис Дрэл (SLAC)</i>
30	<i>Институт физики плазмы АНЧР (Чехия)</i>	Сотрудничество в области исследований по физике плазмы и диагностики плазмы.	2008	<i>А. Иванов (ИЯФ); П. Храска (ЧР)</i>
31	<i>CERN (Швейцария)</i>	1. Научно-исследовательские и конструкторские работы по детекторам для большого адронного коллайдера LHC. 2. Создание элементов комплекса LHC.	1992 1996	<i>А. Бондарь, Ю. Тихонов (ИЯФ); Т. Накада, П. Йенни (CERN) В. Анашин (ИЯФ); Л. Эванс (CERN)</i>
32	<i>Институт Поля Шерера (Швейцария)</i>	Сотрудничество в области физики частиц.	2009	<i>Д. Григорьев (ИЯФ); Д. Месот (Институт Поля Шерера)</i>
33	<i>CERN (Швейцария)</i>	Исследования и развитие технологии микро-структурных детекторов.	2009	<i>Ю. Тихонов (ИЯФ); С. Бертоллуччи (CERN)</i>
34	<i>CERN (Швейцария)</i>	Совместные работы по разработке электрон-позитронных коллайдеров со сверхвысокой светимостью.	2009	<i>Е. Левичев (ИЯФ); С. Маерс (CERN)</i>
35	<i>RIKENSpring-8 (Япония)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей и синхротронного излучения.	1996	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ); Х. Камицубо (Япония)</i>
36	<i>КЕК (Япония)</i>	Проведение исследований в области физики ускорителей и смежных областях, разработка детекторов элементарных частиц.	1995	<i>А. Скринский (ИЯФ); А. Сузуки (КЕК)</i>
37	<i>Центр плазменных исследований Ун-та Цукуба (Япония)</i>	Исследования на открытых ловушках.	2007	<i>А. Иванов (ИЯФ); Т. Имай (Япония)</i>

Состав научных сотрудников

Члены Российской академии наук

Академики:

Барков Лев Митрофанович
Диканский Николай Сергеевич
Кругляков Эдуард Павлович
Кулипанов Геннадий Николаевич
Скринский Александр Николаевич

Члены-корреспонденты РАН:

Бондарь Александр Евгеньевич
Винокуров Николай Александрович
Диканский Николай Сергеевич
Димов Геннадий Иванович
Логачев Павел Владимирович
Пархомчук Василий Васильевич
Хриплович Иосиф Бенционович
Шатунов Юрий Михайлович

Дирекция

Директор:

Скринский Александр Николаевич

Советник РАН:

Кругляков Эдуард Павлович

Заместители директора по науке:

Иванов Александр Александрович
Кулипанов Геннадий Николаевич
Левичев Евгений Борисович
Тихонов Юрий Анатольевич

Учёный секретарь:

Васильев Алексей Владимирович

Учёный совет

- | | |
|---------------------------------------------|-----------------|
| 1. Академик, председатель | Скринский А.Н. |
| 2. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Иванов А.А. |
| 3. Академик, зам. председателя | Кулипанов Г.Н. |
| 4. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Левичев Е.Б. |
| 5. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Тихонов Ю.А. |
| 6. Кандидат физ.-мат. наук, уч. секретарь | Васильев А.В. |
| 7. Кандидат технических наук | Анашин В.В. |
| 8. Доктор физ.-мат. наук, профессор | Аржанников А.В. |
| 9. Академик | Барков Л.М. |
| 10. Кандидат физ.-мат. наук | Блинов В.Е. |
| 11. Член-корр. РАН | Бондарь А.Е. |

12. Доктор физ.-мат. наук	Бурдаков А.В.
13. Член-корр. РАН	Винокуров Н.А.
14. Академик	Диканский Н.С.
15. Член-корр. РАН	Димов Г.И.
16. Доктор физ.-мат. наук	Дружинин В.П.
17. Доктор физ.-мат. наук	Кооп И.А.
18. Академик	Кругляков Э.П.
19. Доктор технических наук	Купер Э.А.
20. Член-корр. РАН	Логачев П.В.
21. Кандидат технических наук	Медведко А.С.
22. Доктор физ.-мат. наук	Мезенцев Н.А.
23. Член-корр. РАН	Пархомчук В.В.
24. Доктор технических наук, профессор	Салимов Р.А.
25. Доктор физ.-мат. наук, профессор	Середняков С.И.
26. Доктор физ.-мат. наук, профессор	Фадин В.С.
27. Доктор физ.-мат. наук	Хазин Б.И.
28. Член-корр. РАН	Хриплович И.Б.
29. Член-корр. РАН	Шатунов Ю.М.
30. Кандидат технических наук	Шиянков С.В.
31. Кандидат физ.-мат. наук	Таскаев С.Ю. – представитель профсоюзной организации
32. Кандидат физ.-мат. наук	Шошин А.А. – представитель Совета молодых ученых

Секции учёного совета по направлениям

Ускорители для прикладных целей

Кулипанов Г.Н. (предс.)	Колмогоров В.В.	Пята Е.Э.
Горбунов В.А. (секр.)	Корчагин А.И.	Ракшун Я.В.
Анашин В.В.	Кузнецов Г.И.	Салимов Р.А.
Антохин Е.И.	Куксанов Н.К.	Скринский А.Н.
Батраков А.М.	Купер К.Э.	Сухина Б.Н.
Брызгин А.А.	Купер Э.А.	Ткаченко В.О.
Винокуров Н.А.	Куркин Г.Я.	Трибендис А.Г.
Востриков В.А.	Левичев Е.Б.	Тумайкин Г.М.
Гольденберг Б.Г.	Медведко А.С.	Фадеев С.Н.
Гуров Д.С.	Мезенцев Н.А.	Чернякин А.Д.
Диканский Н.С.	Немытов П.И.	Ческидов В.Г.
Ерохин А.И.	Николенко А.Д.	Чуркин И.Н.
Золотарев К.В.	Пархомчук В.В.	Шатунов Ю.М.
Иванов А.А.	Петриченков М.В.	Шевченко О.А.
Карпов Г.В.	Петров В.М.	Шкаруба В.А.
Князев Б.А.	Пиндюрин В.Ф.	

Физика плазмы и проблемы УТС

Иванов А.А. (предс.)	Димов Г.И.	Попов С.С.
Кандауров И.В. (секр.)	Давыденко В.И.	Поступаев В.В.
Аникеев А.В.	Иванов И.А.	Приходько В.В.
Аржанников А.В.	Капитонов В.А.	Санин А.Л.
Астрелин В.Т.	Константинов С.Г.	Синицкий С.Л.
Ахметов Т.Д.	Котельников И.А.	Скринский А.Н.
Багрянский П.А.	Кругляков Э.П.	Солдаткина Е.И.
Беклемишев А.Д.	Кузнецов А.С.	Соломахин А.Л.
Бельченко Ю.И.	Кулипанов Г.Н.	Сорокин А.В.
Бурдаков А.В.	Лизунов А.А.	Суляев Ю.С.
Бурмасов В.С.	Лотов К.В.	Таскаев С.Ю.
Васильев А.В.	Меклер К.И.	Тимофеев И.В.
Волосов В.И.	Мурахтин С.В.	Хильченко А.Д.
Воскобойников Р.В.	Полосаткин С.В.	Шиянков С.В.
Вячеславов Л.Н.		

Встречные пучки

Пархомчук В.В. (предс.)	Карпов Г.В.	Онучин А.П.
Петров В.В. (секр.)	Киселев В.А.	Переведенцев Е.А.
Анашин В.В.	Колмогоров В.В.	Пестриков Д.В.
Барков Л.М.	Кооп И.А.	Петров В.М.
Батраков А.М.	Краснов А.А.	Рева В.Б.
Беркаев Д.Е.	Кругляков Э.П.	Салимов Р.А.
Блинов В.Е.	Кулипанов Г.Н.	Симонов Е.А.
Бондарь А.Е.	Куксанов Н.К.	Скринский А.Н.
Брызгин А.А.	Купер Э.А.	Солодов Е.П.
Васильев А.В.	Куркин Г.Я.	Старостенко А.А.
Винокуров Н.А.	Левичев Е.Б.	Тихонов Ю.А.
Воблый П.Д.	Логачев П.В.	Тумайкин Г.М.
Горбунов В.А.	Медведко А.С.	Хазин Б.И.
Горникер Э.И.	Мезенцев Н.А.	Шатилов Д.Н.
Гуров С.М.	Мешков О.И.	Шатунов Ю.М.
Диканский Н.С.	Мишнев С.И.	Шатунов П.Ю.
Ерохин А.И.	Нестеренко И.Н.	Шварц Д.Б.
Золотарев К.В.	Никитин С.А.	Шиянков С.В.

Физика элементарных частиц

Бондарь А.Е. (предс.)	Кравченко Е.А.	Середняков С.И.
Страховенко В.М. (секр.)	Кроковный П.П.	Силагадзе З.К.
Аульченко В.М.	Кузьмин А.С.	Сковпень Ю.И.
Ачасов М.Н.	Левичев Е.Б.	Скринский А.Н.
Барков Л.М.	Ли Р.Н.	Смалюк В.В.
Бару С.Е.	Логачев П.В.	Соколов А.В.
Беркаев Д.Е.	Логашенко И.Б.	Соколов В.В.
Блинов А.Е.	Лукин П.А.	Солодов Е.П.
Блинов В.Е.	Мальшев В.М.	Тодышев К.Ю.
Бузулуцков А.Ф.	Масленников А.Л.	Тагорский В.А.
Васильев А.В.	Мильштейн А.И.	Тельнов В.И.
Воробьев А.И.	Мучной Н.Ю.	Терехов И.С.
Гармаш А.Ю.	Николаев И.Б.	Тихонов Ю.А.
Голубев В.Б.	Николенко Д.М.	Топорков Д.К.
Гребенюк А.А.	Онучин А.П.	Фадин В.С.
Григорьев Д.Н.	Образовский А.Е.	Федотович Г.В.
Грозин А.Г.	Пархомчук В.В.	Хазин Б.И.
Грошев В.Р.	Пахтусова Е.В.	Харламов А.Г.
Димова Т.В.	Пелеганчук С.В.	Хриплович И.Б.
Дмитриев В.Ф.	Пестов Ю.Н.	Черняк В.Л.
Дружинин В.П.	Пивоваров С.Г.	Шамов А.Г.
Жилич В.Н.	Померанский А.А.	Шатунов Ю.М.
Игнатов Ф.В.	Попов А.С.	Шварц Б.А.
Катков В.М.	Рачек И.А.	Шварц Д.Б.
Кононов С.А.	Редин С.И.	Шехтман Л.И.
Кооп И.А.	Рыскулов Н.М.	Эйдельман С.И.

Автоматизация

Тихонов Ю.А. (предс.)	Васильев А.В.	Максимова С.В.
Купер Э.А. (зам. предс.)	Зайцев А.С.	Медведко А.С.
Балдин Е.М. (секр.)	Каплин В.И.	Неханевич Э.Л.
Дубров С.В. (секр.)	Квашнин А.Н.	Солодов Е.П.
Алешаев А.Н.	Клименко А.С.	Сухарев А.М.
Амосов С.А.	Коваленко Ю.В.	Тарарышкин С.В.
Аульченко В.М.	Козак В.Р.	Факторович Б.П.
Банзаров В.Ш.	Кооп И.А.	Фроловская Н.Н.
Белов С.Д.	Король А.А.	Хильченко А.Д.
Беркаев Д.Е.	Кузин М.В.	Цуканов В.М.
Бердюгин А.В.	Купчик В.И.	Чеблаков П.Б.
Богданчиков А.Г.	Курилин О.Ю.	Шатунов Ю.М.
Болховитянов Д.Ю.	Левичев Е.Б.	Шувалов Б.Н.
Бузыкаев А.Р.	Логашенко И.Б.	Шукаев А.Н.
Грозин А.Г.		

Научные работники и их публикации

Скринский А.Н.	110, 112, 218, 219, 220, 222, 253, 254, 319, 332, 349, 408, 429, 430, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 546, 10п, 11п, 25п, 26п, 27п, 28п	Акимов А.В.	405, 426, 464
Анашин В.В.	121, 140, 222, 253, 254, 394, 425, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 10п, 16п, 25п, 26п, 27п, 28п	Алейник В.И.	282, 283, 485, 486, 9п
Иванов А.А.	15, 126, 132, 133, 134, 136, 282, 286, 287, 289, 301, 302, 309, 310, 314, 386, 401, 485, 487, 488, 489, 493, 494, 496, 515, 517, 518, 526, 527, 530, 538, 9п	Алешаев А.Н.	478, 10п
Кругляков Э.П.	133, 302, 512, 517	Алиновский Н.И.	470
Кулипанов Г.Н.	97, 110, 332, 335, 338, 342, 349, 350, 352, 359, 365, 8п, 10п	Алякринский О.Н.	266
Левичев Е.Б.	137, 140, 222, 253, 254, 259, 365, 402, 405, 406, 422, 423, 426, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 541, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п, 92п	Амиров В.Х.	499
Тихонов Ю.А.	8, 9, 13, 25, 32, 33, 35, 55, 58, 69, 82, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 220, 222, 231, 253, 254, 344, 429, 430, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 10п, 11п, 25п, 26п, 27п, 28п, 53п, 54п, 55п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п	Аникеев А.В.	133, 288, 290, 293, 294, 300, 495, 497, 500, 501, 526
***	***	Анисёнков А.В.	112, 170, 171, 172, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60-65п, 66п-70п, 71п-74п
Абакумова Е.В.	138, 139, 140	Антохин Е.И.	321, 390
Абдрашитов А.Г.	296, 488	Анчугов О.В.	405, 426, 10п
Абдрашитов Г.Ф.	296	Аракчеев А.С.	274, 23п
Абдульманов В.Г.		Арбузов В.С.	106
Абрамский А.Ю.	120	Аржанников А.В.	24, 115, 302, 303, 305, 306, 311, 315, 316, 336, 346, 347, 375, 502, 514, 516, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 535, 536, 537
Авербух И.И.	132, 4п	Аринштейн К.Э.	39, 42, 50, 60, 84, 87, 89, 91, 95, 260, 261, 262, 263, 49п, 50п, 51п, 52п
Авилов М.С.		Астигеевич П.М.	112, 11п
Авроров А.П.	304, 378, 508	Астрелин В.Т.	129, 302, 304, 306, 317, 318, 378, 507, 508, 515, 522, 536
Акбердин Р.Р.		Аульченко В.М.	31, 39, 47, 60, 61, 84, 87, 89, 222, 233, 253, 254, 260, 261, 262, 263, 355, 356, 359, 365, 429, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 11п, 25п, 26п, 27п, 28п, 49п, 50п, 51п, 52п
		Ахметов Т.Д.	289
		Ахметшин Р.Р.	31
		Ачасов М.Н.	6, 28, 48, 49, 57, 70, 73, 77, 79, 85, 86, 90, 138, 218, 219, 220, 429, 430, 433, 11п
		***	***
		Бабичев Е.А.	231, 344
		Багрянский П.А.	133, 135, 279, 288, 290, 291, 292, 294, 295, 299, 300, 490, 491, 492, 495, 498, 499, 507
		Бак П.А.	267, 396, 464, 465
		Балдин Е.М.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п

Банзаров В.Ш.	31	Белов С.Д.	412, 478
Барков Л.М.	31, 167, 168, 232, 91п	Бельх В.В.	309, 518, 527, 528, 538
Барладян А.К.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п	Бельченко Ю.И.	
Барняков А.Ю.	220, 222, 223, 224, 253, 254, 429, 430, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 11п, 25п, 26п, 27п, 28п	Бердюгин А.В.	218, 219, 220, 429, 430, 11п
Барняков А.М.		Беркаев Д.Е.	112, 220, 542, 546, 3п, 11п
Барняков М.Ю.	222, 223, 224, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 25п, 26п, 27п, 28п	Бехтенов Е.А.	391, 405, 426, 470, 544, 10п
Бару С.Е.	31, 222, 230, 231, 235, 236, 253, 254, 344, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п	Бирючевский Ю.А.	477
Барышев В.Б.		Блинов А.Е.	38, 222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п
Басок И.Ю.	222, 223, 253, 254, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 451, 452, 25п, 26п, 27п, 28п	Блинов В.Е.	40, 41, 43, 44, 45, 51, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 83, 92, 96, 138, 222, 223, 253, 254, 404, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 451, 452, 1п, 10п, 11п, 25п, 26п, 27п, 28п, 1А
Батазова М.А.	464	Блинов М.Ф.	
Баткин В.И.	134, 306	Бобров А.В.	222, 233, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п, 32п, 33п, 34п, 35п, 36п, 37п, 38п, 39п, 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 47п
Баграков А.М.	116, 119, 267, 403, 405, 426, 464, 465, 470, 10п, 2А	Бобровников В.С.	9, 25, 32, 33, 35, 55, 58, 69, 82, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 222, 223, 224, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 25п, 26п, 27п, 28п, 53п, 54п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п
Баштовой Н.С.	31	Бобылев В.Б.	134, 314, 512
Баянов Б.Ф.	283, 284, 486	Богданчиков А.Г.	25, 32, 33, 35, 55, 58, 69, 82, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192,
Бедарева Т.В.	470		
Безуглов В.В.	326, 555		
Беклемишев А.Д.	16, 17, 128, 133, 135, 279, 292, 302, 373, 374, 383, 490, 515, 526		
Беликов О.В.	112, 405, 426, 470		
Белобородов К.И.	218, 219, 220, 429, 430, 11п		
Белобородова О.Л.	33, 35, 69, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 222, 224, 233, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п, 53п, 54п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п		
Белов В.П.	132, 310, 488		

	193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 218, 219, 220, 429, 430, 11п, 53п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п		485, 486, 502, 503, 504, 508, 510, 511, 514, 515, 516, 517, 519, 523, 526, 531, 532, 534, 539, 540
Богомягков А.В.	21, 222, 253, 254, 402, 406, 422, 423, 424, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 541, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п		426 10п
Боймельштейн Ю.М.	464		306, 314, 512, 516
Болховитянов Д.Ю.	396, 399, 464		3п
Бондаренко А.В.			304, 378, 508
Бондарь А.Е.	27, 31, 39, 42, 47, 50, 53, 60, 74, 91, 93, 95, 141, 144, 222, 233, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 251, 252, 253, 254, 260, 261, 262, 263, 343, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 10п, 17п, 25п, 26п, 27п, 28п, 29п, 30п, 32п-40п, 41п-47п, 49п-52п	***	***
Борисов А.А.		Васильев А.В.	218, 219, 220, 429, 430, 11п
Бороденко А.А.	223, 446, 447, 448, 451, 452	Васичев С.П.	10п
Бородич В.В.	470	Васичев С.С.	
Ботов А.А.	220, 429, 430, 11п	Великанов Ю.М.	395
Бочаров В.Н.	469, 470	Веремеенко В.Ф.	395, 10п
Брагин А.В.	31	Весенев В.М.	429, 11п
Брызгунов М.И.	415, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472	Винокуров Н.А.	97, 98, 101, 110, 332, 335, 349, 395, 409, 417
Брызгин А.А.	24, 124, 325, 326, 533, 555	Винокурова А.Н.	39, 42, 47, 50, 60, 74, 87, 89, 91, 93, 95, 260, 261, 262, 263, 49п, 50п, 51п, 52п
Бублей А.В.	466, 467, 468, 469, 470, 15А	Власенко М.Г.	113, 332, 334, 335, 349
Бузулуцков А.Ф.	27, 251, 252, 343, 453, 454, 29п, 30п, 31п	Воблый П.Д.	116, 119, 127, 349, 377, 382, 403, 406, 416, 419, 422, 423, 541
Бузыкаев А.Р.	40, 41, 43, 44, 45, 51, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 83, 92, 96, 222, 223, 224, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 25п, 26п, 27п, 28п	Волков А.А.	414
Букин Д.А.	218, 219, 220, 429, 430, 11п	Волков В.Н.	271, 420, 421
Бурдаков А.В.	134, 282, 283, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 311, 312, 313, 316, 317, 318, 346, 371, 375, 378,	Волосов В.И.	
		Воробьев А.И.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п
		Воробьев В.С.	17п
		Воронин Л.А.	326
		Воскобойников Р.В.	
		Востриков В.А.	
		Вячеславов Л.Н.	306, 313, 316, 346, 371, 503, 509, 514, 516, 519, 523, 534, 540
		***	***
		Габышев Н.И.	31, 39, 42, 47, 50, 53, 60, 74, 87, 89, 91, 93, 95, 260, 261, 262, 263, 49п, 50п, 51п, 52п
		Гальт А.А.	349, 395
		Гармаш А.Ю.	39, 42, 50, 87, 89, 91, 93, 95, 144, 260, 261, 262, 263, 49п, 50п, 51п, 52п
		Гаузштейн В.В.	167, 168, 169, 387, 388, 389, 91п
		Гаязов С.Е.	112
		Генцелев А.Н.	118, 363
		Герасимов В.В.	2, 3, 102, 113, 332, 333, 335, 337, 345, 349
		Гетманов Я.В.	332, 349, 417
		Глухов С.А.	10п

Глуховченко Ю.М.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 4п, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п	Дейчули П.П.	132, 136, 296, 310, 488, 518, 527, 529
Голковский М.Г.	114, 320, 321, 322, 323	Дементьев Е.Н.	349, 409
Головин Р.А.	91п	Деревянкин Г.Е.	304, 378, 508
Голубев В.Б.	40, 41, 43, 44, 45, 51, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 67, 71, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 83, 92, 96, 218, 219, 220, 224, 429, 430, 432, 11п	Диканский Н.С.	264
Голубенко Ю.И.	550, 551	Димов Г.И.	14, 127, 377, 382
Голубцов С.К.	118	Димова Т.В.	218, 219, 220, 429, 11п
Гольденберг Б.Г.	118, 120, 328, 363, 7А	Дмитриев В.Ф.	23, 141, 167, 168, 232, 463, 91п
Гончаров А.Д.	415, 470, 471, 472, 476	Днепровский Л.В.	443, 444, 445
Гончарова Н.Ф.	121	Довженко Б.А.	395, 470
Горбовский А.И.	310, 488	Домаров Е.В.	550
Горбунов В.А.	326	Донин А.С.	133, 296, 301
Гордеев О.П.	10п	Дорохов Д.В.	
Горловой А.В.	361	Драничников А.Н.	488
Горникер Э.И.	106, 477	Дружинин В.П.	40, 41, 43, 44, 45, 51, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 83, 92, 96, 218, 219, 220, 258, 429, 430, 11п
Горчаков К.М.	112, 405, 426, 470	Дубровин А.Н.	405
Гостеев В.К.	466, 470	Дудников А.В.	324
Грабовский А.В.	158, 159, 15п	***	***
Грамолин А.В.	232, 388, 91п	Елисеев А.А.	464
Гребенюк А.А.	27, 31, 251, 252, 343, 29п, 30п	Елисеев В.С.	320, 321, 390
Гревцов К.А.	429, 430, 11п	Еманов Ф.А.	403, 464
Григорьев Д.Н.	31, 225, 226, 227, 228, 231, 254, 344, 25п, 27п, 28п	Емелёв И.С.	127, 377, 382
Гришняев Е.С.	539	Епифанов Д.А.	20, 31, 39, 42, 47, 50, 260, 261, 262, 263, 49п, 50п, 51п, 52п
Грозин А.Г.	153, 154, 18п	Ерохин А.И.	405, 426, 470
Грошев В.Р.	231, 344	Ерохов В.Н.	10п
Губин К.В.		***	***
Гудков Б.А.	410	Жилич В.Н.	39, 42, 47, 50, 68, 74, 84, 89, 91, 93, 95, 222, 233, 253, 254, 260, 261, 262, 263, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п, 49п, 50п, 51п, 52п, 91п
Гулевич В.В.	222, 223, 224, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 451, 452, 25п, 26п, 27п, 28п	Жиров О.В.	152, 165, 166, 19п, 20п
Гуров Д.С.	116, 426	Жмака А.И.	10п
Гуров С.М.	403, 405, 413, 426	Жмуриков Е.И.	105, 362
Гусев Г.А.	140	Жуков А.А.	138, 139
Гусев Д.В.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 25п, 26п, 27п, 28п	Жуланов В.В.	39, 42, 47, 50, 53, 74, 84, 87, 89, 91, 93, 95, 222, 233, 234, 253, 254, 260, 261, 262, 263, 355, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п, 49п, 50п, 51п, 52п, 8А
Гусев Е.А.		Журавлев А.Н.	222, 253, 254, 393, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п
Гусев И.А.	467, 470	***	***
***	***		
Давидовский В.Г.			
Давыденко В.И.	126, 132, 134, 136, 282, 286, 287, 309, 310, 401, 487, 488, 489, 518, 527, 530, 538		
Девятайкина Т.А.	403		
(Яскина Т.А.)			

Заиграева Н.С.	332, 349	Карнаев С.Е.	222, 253, 254, 397, 398, 405, 426, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п
Зайцев А.С.	8, 9, 13, 25, 31, 32, 33, 35, 55, 58, 69, 82, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 412, 53п, 54п, 55п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п	Карпов Г.В.	222, 253, 254, 391, 405, 426, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 470, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п
Зайцев К.Ф.	133, 135, 279, 490	Карпов И.Е.	507
Запрягаев И.А.		Карпов С.В.	31, 222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п
Запяткин Н.П.	470	Касаев А.С.	430
Зверев С.И.		Касатов А.А.	313, 314, 371, 372, 503, 505, 512, 514, 540
Зеваков С.А.	167, 168, 169, 232, 387, 388, 389, 91п	Касатов Д.А.	314, 486, 512
Землянский И.М.	112, 220, 546, 11п	Катков В.М.	156, 457
Зинин Э.И.	122, 10п	Квашнин А.Н.	291, 491, 492, 509, 510, 513, 539
Золотарев К.В.	140, 350, 364, 366, 368, 16п	Кенжебулатов Е.К.	477
Зубарев П.В.	296	Кирилин Г.Г.	
Зубков Н.И.	116	Кирпотин А.Н.	112, 542, 546, 11п
Зюкова О.	39, 42, 50, 74, 91, 95	Киселев В.А.	222, 253, 254, 393, 404, 405, 426, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п
***	***	Клименко А.С.	390
Иваненко В.Г.	308	Клюев В.Ф.	476
Иваненко С.В.	291, 314, 491, 509, 512	Князев Б.А.	2, 3, 102, 113, 327, 331, 332, 333, 334, 335, 337, 339, 340, 345, 349
Иванов А.В.	108, 467, 468, 470	Кобец В.В.	127, 377, 382, 403, 405, 426
Иванов И.А.	303, 306, 307, 308, 311, 316, 371, 503, 511, 515, 516, 519, 526, 531, 532	Коваленко Н.В.	
Иванова Л.А.	509, 512	Коваленко Ю.В.	133, 291, 491
Иванцовский М.В.	306, 313, 316, 371, 503, 514, 519, 540	Коврижин Д.П.	112, 220, 429, 430, 11п
Ивлюшкин Д.В.	361	Когут Д.А.	550, 551
Игнатов Ф.В.	31	Козак В.Р.	395, 478, 3п, 10п
Ильин И.В.	116, 119	Козлов М.Г.	160, 12п, 13п
***	***	Козырев А.Н.	112
Кадыров Р.А.	267	Козырев Е.В.	106
Казанин В.Ф.	31, 53п, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60п-70п, 71-80п, 81п-90п	Койсин Ю.И.	470
Калинин П.В.	24, 346, 516, 520, 521, 522, 523, 525, 534, 535, 536, 537	Кокин Е.Н.	326
Каминский В.В.	138, 10п, 91п	Колесников Е.Ю.	135, 279
Кандауров И.В.	304, 317, 376, 378, 506, 508	Колмогоров А.В.	286, 287
Капитонов В.А.	132, 134, 304, 309, 378, 508, 538	Колмогоров В.В.	254, 401, 405, 426, 488, 25п, 27п, 28п
Каплин В.И.	412, 10п	Колобанов Е.И.	332, 349
Кардапольцев Л.В.	112, 218, 220, 429, 430, 434, 494, 11п	Колокольников Ю.М.	416
Кармакулов К.Г.		Кондаков А.А.	488
		Кондауров М.Н.	467, 470
		Кондратьев В.И.	118, 120, 354

Кононов С.А.	222, 223, 224, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 25п, 26п, 27п, 28п	Кудрявцев В.Н.	233, 254, 443, 444, 445, 25п, 27п, 28п
Константинов В.М.	405, 426	Кузнецов А.С.	282, 485, 9п
Константинов Е.С.	476	Кузнецов Г.И.	124, 464, 555, 10п
Константинов С.Г.		Кузнецов С.А.	4, 5, 305, 306, 336, 346, 347, 375, 502, 514, 516, 519, 521, 522, 523, 524, 534, 535, 536,
Кооп И.А.	21, 31, 112, 218, 219, 220, 319, 423, 430, 541, 542, 545, 546, 548, 549, 11п	Кузьмин А.С.	31, 39, 42, 47, 50, 53, 61, 68, 74, 84, 89, 95, 257, 260, 261, 262, 263, 443, 444, 445, 49п, 50п, 51п, 52п
Корепанов А.А.	405, 426, 464	Кузьминых В.С.	140, 391, 405, 426
Коржавина М.С.	133, 290, 490	Куклин К.Н.	303, 306, 311, 314, 316, 512, 519, 531
Коробейников М.В.	124, 326, 552, 553, 554, 555	Куксанов Н.К.	550, 551
Король А.А.	25, 32, 33, 35, 55, 58, 69, 82, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 218, 219, 220, 429, 430, 11п, 53п, 54п, 55п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п	Куленко Я.В.	464
Корчагин А.И.	550	Куликов В.Ф.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п
Косов А.В.	117, 353, 354	Купер К.Э.	100, 120, 5А
Котельников И.А.	135, 277, 278, 279, 302, 341, 483, 484	Купер Э.А.	117, 222, 253, 254, 395, 405, 410, 426, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п
Котов К.Ю.	8, 222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п	Куркин Г.Я.	222, 253, 254, 418, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 477, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п
Кошуба С.В.	218, 219, 220, 429, 430, 11п	Куркучеков В.В.	304, 376, 378, 506, 508
Кравченко Е.А.	40, 41, 43, 44, 45, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 80, 81, 83, 96, 222, 223, 224, 253, 254, 429, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 11п, 25п, 26п, 27п, 28п	Кусков Р.Е.	
Краснов А.А.	138, 139, 140, 394, 425	Куянов И.А.	223, 446, 447, 448, 451, 452
Кроковный П.П.	31, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 244, 245, 246, 260, 261, 262, 263, 32п, 33п, 34п, 35п, 36п-40п, 41п-47п, 49п-52п	***	***
Крутихин С.А.	477	Лаврухин А.В.	550
Крючков А.М.	468, 470	Лазаренко Б.А.	232, 91п
Кубарев В.В.	332, 342, 347, 348, 349, 385	Лапик Р.М.	
		Лебедев Н.Н.	
		Лев В.Х.	400, 414
		Левичев А.Е.	109, 14А
		Легкодымов А.А.	358, 361, 367
		Леонов В.В.	231, 344
		Ли Р.Н.	143, 161, 162, 163, 164, 462
		Лизунов А.А.	133, 291, 296, 299, 301, 490, 491
		Лисицын А.Д.	470
		Листопад А.А.	126, 487
		Логачев П.В.	267, 319, 464, 465
		Логашенко И.Б.	31
		Лопаткин И.А.	470
		Лотов К.В.	103, 104, 272, 273, 274, 275, 276, 370, 381, 479, 480, 481, 482, 21п, 22п, 23п, 24п

Лукин А.Н.	326, 555	201, 202, 203, 204, 205,
Лукин П.А.	31	206, 207, 208, 209, 210,
Лысенко А.П.	31, 112, 430, 546, 11п	211, 212, 213, 214, 215,
Львовский А.В.	492	216, 217, 222, 253, 254,
Лях В.В.	361	437, 438, 439, 440, 441,
***	***	442, 443, 444, 445, 25п,
Макаров А.Н.	282, 283, 485, 486	26п, 27п, 28п, 53п-60п,
Макаров И.Г.	124, 326, 555	61п-70п, 71п-80п,
Макаров М.А.	303, 305, 306, 307, 308,	81п-90п
	312, 315, 316, 346, 371,	Матвеев А.Н.
	503, 504, 511, 514, 516,	Матвиенко Д.В.
	519, 523, 532, 534	97, 271, 421
Максимов В.В.	133, 135, 279, 295, 386,	42, 47, 61, 68, 257, 260,
	490, 493	261, 262, 263, 49п, 50п,
Максимов Д.А.	69, 94, 170, 171, 172,	51п, 52п
	173, 174, 175, 176, 177,	Машковцев М.Р.
	178, 179, 180, 181, 182,	361
	183, 184, 185, 186, 187,	Медведев Л.Э.
	188, 189, 190, 191, 192,	Медведко А.С.
	193, 194, 195, 196, 197,	222, 253, 254, 395, 405,
	198, 199, 200, 201, 202,	409, 426, 437, 438, 439,
	203, 204, 205, 206, 207,	440, 441, 442, 443, 444,
	209, 210, 211, 212, 222,	445, 470, 10п, 25п, 26п,
	253, 254, 437, 438, 439,	27п, 28п
	440, 441, 442, 443, 444,	Мезенцев Н.А.
	445, 25п, 26п, 27п,	350, 352, 353, 364, 365,
	28п, 53п-60п, 61п-70п,	400, 414
	71п-80п, 81п-90п	Меклер К.И.
Максимов С.А.	326	134, 303, 305, 306, 307,
Максимовская В.В.	357, 364	308, 311, 312, 316, 346,
Мальшев В.М.	8, 9, 13, 25, 32, 33, 35, 55,	371, 375, 502, 503, 504,
	58, 69, 82, 94, 170, 171,	511, 514, 516, 519, 523,
	172, 173, 174, 175, 176,	532, 534
	177, 178, 179, 180, 181,	Мешков О.И.
	182, 183, 184, 185, 186,	222, 253, 254, 391, 393,
	187, 188, 189, 190, 191,	405, 426, 437, 438, 439,
	192, 193, 194, 195, 196,	440, 441, 442, 10п, 25п,
	197, 198, 199, 200, 201,	26п, 27п, 28п
	202, 203, 204, 205, 206,	Мигинская Е.Г.
	207, 208, 209, 210, 211,	414
	212, 213, 214, 215, 216,	Мигинский С.В.
	222, 253, 254, 437, 438,	18, 107, 332, 349, 14п
	439, 440, 441, 442, 443,	Микайылов А.И.
	444, 445, 25п, 26п, 27п,	10п
	28п, 53п-60п, 61п-70п,	Мильштейн А.И.
	71п-80п, 81п-90п	23, 141, 142, 143, 144,
Мамкин В.Р.	405, 426, 470, 10п	145, 222, 26п
Мартин К.А.	112, 220, 224, 429, 430,	Мироненко Л.А.
	11п	349, 10п
Мартышкин П.В.		Митянина Н.В.
Масленников А.Л.	8, 9, 13, 25, 32, 33, 35,	111
	55, 58, 69, 82, 94, 170,	Михайлов К.Ю.
	171, 172, 173, 174, 175,	31
	176, 177, 178, 179, 180,	Мишагин В.В.
	181, 182, 183, 184, 185,	309, 310, 487, 488, 538
	186, 187, 188, 189, 190,	Мишнев С.И.
	191, 192, 193, 194, 195,	167, 168, 222, 232, 253,
	196, 197, 198, 199, 200,	254, 437, 438, 439, 440,
		441, 442, 10п, 25п, 26п,
		27п, 28п, 91п
		Моисеев Д.В.
		296, 513
		Морозов И.И.
		222, 253, 254, 437, 438,
		439, 440, 441, 442, 10п,
		25п, 26п, 27п, 28п
		Мурахтин С.В.
		99, 133, 296, 298, 490,
		529
		Мучной Н.Ю.
		6, 28, 48, 49, 57, 70, 73,
		79, 85, 90, 138, 222, 253,
		254, 437, 438, 439, 440,
		441, 442, 443, 444, 445,
		10п, 25п, 26п, 27п, 28п,
		91п, 3А

Нейфельд В.В.	222, 253, 254, 405, 426, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 10п		440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п, 53п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п
Немытов П.И.	550, 551		
Нестеренко И.Н.	542, 543, 546, 11п	Осипов А.А.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п
Нефедов Н.Б.	405, 426		
Нехаев В.Е.			
Никитин С.А.	222, 253, 254, 404, 406, 422, 423, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 541, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п, 4А	Осипов А.В.	167, 168, 232
		Осипов В.Н.	10п
Николаев И.В.	464	Острейко Г.Н.	124, 555
Николаев И.Б.	49, 70, 73, 79, 86, 138, 222, 253, 254, 404, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п	Отбоев А.В.	21, 319, 546
		Оттмар А.В.	464
Николенко А.Д.	363, 9А	Охапкин В.С.	31
Николенко Д.М.	167, 168, 169, 232, 387, 388, 389, 427, 10п, 91п	***	***
***	***	Павленко А.В.	267, 465
Образовский А.Е.	112, 220, 428, 429, 430, 11п	Павлов В.М.	109
Овтин И.В.	223	Павлов О.А.	464
Овчар В.К.	349, 394, 10п	Панасюк В.М.	415, 466, 467, 470, 471, 472
Огурцов А.Б.	116, 119	Панов А.Н.	267, 396, 464, 465
Окунев И.Н.	222, 253, 254, 405, 406, 422, 423, 426, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 541, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п	Панфилов А.Д.	124, 326, 555
		Панченко В.Е.	16п
Онучин А.П.	40, 41, 43, 44, 45, 51, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 83, 92, 96, 222, 223, 224, 253, 254, 429, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 10п, 11п, 25п, 26п, 27п, 28п	Папушев П.А.	231, 344, 355
		Пархомчук В.В.	268, 269, 270, 319, 415, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476
Орешкин С.Б.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п	Пахтусова Е.В.	218, 219, 220, 429, 430, 11п
		Пачков А.А.	464
Орешонок В.В.	392, 10п	Пелеганчук С.В.	8, 9, 13, 25, 32, 33, 35, 55 58, 69, 82, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п, 53п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п
Орлов И.О.	8, 9, 13, 25, 32, 33, 35, 58, 69, 82, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 222, 253, 254, 437, 438, 439,	Переведенцев Е.А.	31, 112, 545, 546, 11п
		Персов Б.З.	332, 349
		Пестов Ю.Н.	11, 12, 34, 36, 37, 46, 88
		Пестриков Д.В.	264, 265
		Петренко А.В.	26, 123
		Петриченков М.В.	405, 407, 426
		Петров В.В.	222, 253, 254, 426, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 4п, 5п, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п

Петров В.М.	106, 111, 405, 418, 477, 10п	Приходько В.В.	133, 135, 279, 289, 290, 292, 295, 301, 490, 492, 494, 495, 496
Петрова Е.В.	120	Прозоренко П.С.	320, 322
Петрожицкий А.В.	476	Протопопов А.Ю.	470
Пивоваров И.Л.		Пупков Ю.А.	140, 5п, 6п, 10п
Пивоваров С.Г.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п	Пурескин Д.Н.	405, 426, 467, 470
Пилан А.М.	106, 477	Пурыга Е.А.	314, 509, 510, 512, 539
Пилипенко Р.В.		Путьмаков А.А.	467, 470
Пиминов П.А.	222, 253, 254, 402, 406, 422, 423, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 541, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п	Пята Е.Э.	138
Пиндюрин В.Ф.	118, 120, 361, 363	***	***
Пинженин Е.И.	133, 295, 386, 490, 493	Радченко В.М.	124, 326
Пирогов С.А.		Разоренов В.В.	
Плотникова О.А.	10п	Ракшун Я.В.	351, 352, 353, 357, 364, 366, 368
Подобаев В.С.	326, 555	Растигеев С.А.	268, 269, 475, 476
Подыминогин А.А.	132	Рачек И.А.	167, 168, 169, 232, 387, 388, 389, 427, 91п
Полетаев И.В.	363, 470	Ращенко В.В.	415
Полосаткин С.В.	134, 302, 303, 306, 307, 308, 309, 311, 312, 313, 316, 346, 371, 375, 502, 503, 504, 511, 516, 518, 519, 523, 527, 528, 530, 531, 532, 538, 539, 540	Рева В.Б.	270, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473
Полухин В.А.	403, 470	Редин С.И.	31
Полуэктов А.О.	39, 42, 50, 60, 84, 87, 89, 95, 222, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 244, 245, 246, 253, 254, 260, 261, 262, 263, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 17п, 25п, 26п, 27п, 28п, 32п-47п, 49п, 50п, 51п, 52п	Резниченко А.В.	12п, 13п
Полянский А.В.	426, 10п	Репков В.В.	10п
Померанский А.А.		Ровенских А.Ф.	134, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 312, 314, 316, 346, 371, 375, 378, 502, 503, 504, 508, 510, 511, 512, 513, 516, 519, 523, 532, 534, 539
Попик В.М.	329, 330, 332, 349	Роговский Ю.А.	112, 220, 430, 542, 543, 544, 546, 11п
Попов А.С.	31, 225, 226, 306, 313, 314, 316, 371, 372	Родионов Д.Г.	334
Попов С.С.	503, 505, 512, 514, 516, 519, 540	Родякин В.А.	443, 444, 445
Попова Н.И.	455	Романов А.Л.	112, 220, 430, 542, 546, 11п, 12А
Поросев В.В.	224, 231, 344	Ротов Е.А.	10п
Поступаев В.В.	134, 302, 303, 305, 306, 307, 308, 311, 312, 313, 316, 317, 346, 371, 375, 502, 503, 504, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 519, 523, 526, 531, 532, 534, 540	Рубан А.А.	31, 222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п
Присекин В.Г.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 1п, 25п, 26п, 27п, 28п	Рувинский С.И.	405, 426
		Руденко А.С.	29, 38, 146, 147, 148
		Рыбицкая Т.В.	405
		Рыжененков А.Е.	112
		Рыскулов Н.М.	31
		***	***
		Савинов Г.А.	222, 231, 253, 254, 344, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п
		Савкин В.Я.	99, 133, 291, 298, 487, 490, 491
		Садьков Р.Ш.	167, 168, 169, 232, 91п
		Сазанский В.Я.	267, 465
		Саликова Т.В.	332, 349
		Салимов Р.А.	550

Сальников С.Г.	23		197, 198, 199, 200, 201,
Сандырев В.К.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п		202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 220, 429, 430, 11п, 53п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п
Санин А.Л.			
Свищев В.В.	10п		
Седяров И.К.	10п		
Селиванов А.Н.	10п	Сковпень Ю.И.	40, 41, 43, 44, 45, 51, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 83, 92, 96, 222, 253, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 26п
Селиванов П.А.	410		
Семенов А.В.	405		
Семенов А.М.	121, 140, 425, 426		
Семенов Е.П.	470		
Семенов Ю.И.			
Сенченко А.И.	112	Скоробогатов Д.Н.	415, 467, 470, 471, 472
Сеньков Д.В.	405, 426, 467, 470	Смалюк В.В.	140, 222, 253, 254, 391, 392, 393, 394, 404, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п
Сердобинцев Г.В.	124, 555		
Середняков С.И.	40, 41, 43, 44, 45, 51, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 83, 92, 96, 112, 218, 219, 220, 224, 258, 429, 430, 431, 11п	Снопков Р.Г.	443, 444, 445
		Соколов А.В.	27, 222, 251, 253, 254, 343, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п, 30п
Середняков С.С.	332, 349, 395, 397, 409, 410, 426	Соколов В.В.	152, 456
Сидоров А.А.	169, 232, 387, 388, 389	Солдаткина Е.И.	135, 279, 490
Сидоров А.В.	124, 292, 325, 326, 555	Солодов Е.П.	31, 40, 41, 43, 44, 45, 51, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 83, 92, 96
Силагадзе З.К.	1, 7, 218, 219, 220, 429, 430, 11п		
Симонов Е.А.	137, 222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п	Соломахин А.Л.	291, 297, 299, 490, 491, 492
		Сорокин А.В.	132, 296, 310, 488
Сингатулин Ш.Р.		Сорокин И.Н.	282, 485, 9п
Синицкий С.Л.	283, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 312, 315, 316, 317, 346, 371, 375, 378, 486, 502, 503, 504, 508, 511, 514, 515, 516, 519, 520, 521, 522, 523, 526, 532, 534, 535, 536, 537	Сорокина Н.В.	134, 306, 312, 504, 511, 519
		Сороколетов Д.С.	352, 357
Синяткин С.В.	222, 253, 254, 350, 406, 422, 423, 426, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 541, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п	Станкевич А.С.	112
		Старостенко А.А.	
Скляров В.Ф.	305, 306, 314, 346, 375, 502, 512, 514, 516, 519, 523, 534	Старостенко Д.А.	464
		Старостина Е.В.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п
Сковородин Д.И.	128, 373, 374	Степанов В.Д.	312, 315, 346, 504, 516, 522, 523, 534, 536
Сковпень К.Ю.	8, 9, 25, 32, 33, 35, 55, 58, 69, 82, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196,	Страховенко В.М.	141, 155, 458
		Ступишин Н.В.	136, 310, 518, 527, 530
		Судников А.В.	306, 307, 308, 316, 511, 519, 532
		Суляев Ю.С.	134, 306, 307, 316, 346, 510, 511, 516, 523, 534, 539
		Сурин И.К.	112, 220, 429, 430, 11п
		Суханов А.В.	426
		Суханов Д.П.	392, 393, 394, 10п

Сухарев А.М.	8, 9, 25, 32, 33, 35, 55, 58, 69, 82, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 222, 253, 254, 412, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п, 53п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п	Тодышев К.Ю.	40, 41, 43, 44, 45, 51, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 83, 92, 96, 138, 222, 253, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п
Сухина Б.Н.		Токарев Ю.Ф.	
Сыроватин В.М	414	Толочко Б.П.	234, 321, 354, 355, 356, 359, 365, 390, 8п
***	***	Топорков Д.К.	167, 168, 169, 232, 387, 388, 389, 427, 10п, 91п
Тальшев А.А.	8, 9, 25, 32, 33, 35, 55, 58, 69, 82, 94, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 222, 253, 254, 412, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п, 53п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п	Трибендис А.Г.	
		Трунев Ю.А.	134, 304, 376, 378, 506, 507, 508
		Тумайкин Г.М.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п
		***	***
		Украинцев Ю.Г.	227, 228, 229, 230, 231, 344
		Усов Ю.В.	39, 68, 74, 87, 89, 91, 220, 222, 230, 253, 254, 260, 261, 262, 263, 429, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 11п, 25п, 26п, 27п, 28п, 49п, 50п, 51п, 52п
		Уткин А.В.	116, 119, 426
		Утюпин Н.Ф	10п
		***	***
		Фадеев С.Н.	550
		Фадин В.С	157, 158, 159, 160, 459, 460, 461, 12п, 13п, 15п
		Факторович Б.Л	124, 326, 555
		Фатькин Г.А	267, 464, 465, 470
		Федотов М.Г.	469, 470, 10п
		Федотович Г.В.	10, 31
		Филипченко А.В.	121, 350, 426
		Фролов А.Р.	11, 476
		***	***
		Хавин Н.Г.	116
		Хазин Б.И.	31, 112, 225, 226
		Харламов А.Г.	218, 220, 429, 430, 11п
		Харламова Т.А.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п,
		Хацимовский В.М.	149, 150, 151
		Хильченко А.Д.	291, 296, 309, 491, 492, 509, 510, 513, 539, 10п
		Хильченко В.А.	309, 513
		Холопов М.А.	116, 352, 357, 419
		Хриплович И.Б.	29, 147, 148
		Хрущев С.В.	414, 16п
		***	***
Тарарышкин С.В.	410, 478, 3п, 10п		
Тарнецкий В.В.	124, 326, 555		
Таскаев С.Ю.	282, 283, 284, 285, 485, 486, 7п		
Тагорский В.А.	222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п		
Текутьев А.И.	11п		
Тельнов В.И.	222, 230, 253, 254, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п		
Терехов И.С.	142, 143		
Тимофеев И.В.	131, 302, 317		
Титов В.М.	234, 355		
Тиунов М.А.	124, 127, 309, 326, 377, 382, 538, 555		
Ткаченко В.О.	326, 555		

Цидулко Ю.А.	125, 130, 135, 279, 280, 281, 290, 294, 369, 379, 380, 384	Шварц Б.А.	30, 31, 39, 47, 50, 61, 68, 89, 95, 222, 247, 248, 249, 250, 253, 254, 260, 261, 262, 263, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п, 49п, 50п, 51п, 52п
Цуканов В.М.	400, 414, 10п	Шварц Д.Б.	112, 220, 319, 430, 542, 546, 11п
Цыганов А.С. ***	403	Шведов Д.А.	426, 10п
Чакин И.К.	320, 322	Шебалин В.Е.	39, 42, 47, 50, 87, 89, 93, 95, 260, 261, 262, 263, 49п, 50п, 51п, 52п
Чеблаков П.Б.	397, 398, 399, 405, 426	Шевченко О.А.	97, 98, 332, 342, 349, 417, 419
Чекавинский В.А.	467, 470	Шемякин Д.Н.	112
Черепанов В.П.	256, 391, 392, 405, 426, 10п	Шемякина Е.О.	251, 30п
Черепков В.Г.		Шеромов М.А.	117, 360
Чернов В.А.	352, 353, 364	Шестаков Ю.В.	167, 168, 169, 232, 387, 388, 389, 427, 91п
Чернов К.Н.	124, 326, 555	Шехтман Л.И.	231, 232, 233, 234, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 244, 245, 246, 344, 355, 443, 444, 445, 32п, 33, 34п, 35п, 36п, 37п, 38п, 39п, 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 47п
Черноштанов И.С.	290, 369, 379, 380, 384	Шиховцев И.В.	132, 310
Черняк В.Л.		Шичков Д.С.	116, 119, 426, 6А
Чернякин А.Д.	405, 426	Шиянков С.В.	319, 426, 10п
Ческидов В.Г.	98, 106, 124, 349, 405, 409, 426, 469, 470, 555, 4п	Шкаруба В.А.	414
Чопорова Ю.Ю.	113, 331, 332, 335, 340, 349	Шошин А.А.	303, 306, 308, 311, 531, 10А
Чудаев В.Я.	407	Штарклев Е.А.	326, 552, 553, 554, 555
Чупыра А.Г.		Штоль Д.А.	220, 429, 430, 11п, 11А
Чуркин И.Н. ***	405, 426, 10п ***	Шубин Е.И.	409, 10п
Шаманаева Л.И.	230	Шукаев А.Н.	429, 11п
Шамов А.Г.	8, 9, 25, 32, 33, 35, 58, 69, 82, 94, 138, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 222, 230, 233, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п, 53п-60п, 61п-70п, 71п-80п, 81п-90п	Шульженко Г.И.	310, 487
Шатилов Д.Н.	137, 222, 253, 254, 406, 422, 423, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 541, 10п, 25п, 26п, 27п, 28п	Шушаро А.И. ***	443, 444, 445 ***
Шагунов П.Ю.	112, 220, 319, 430, 546, 11п, 13А	Щеглов М.А.	332, 349
Шагунов Ю.М.	22, 31, 112, 218, 219, 220, 319, 429, 430, 542, 546, 547, 11п	Щеголев Л.М.	121, 405, 426
		Щудло И.М. ***	308, 486 ***
		Эйдельман С.И.	10, 31, 39, 42, 47, 50, 53, 60, 61, 68, 74, 84, 87, 89, 91, 93, 95, 222, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 25п, 26п, 27п, 28п, 32п, 33п-40п, 41п-52п, 92п
		Эйдельман Ю.И.	

Эпштейн Л.Б.	112	
***		***
Юдин Ю.В.	31, 225, 226	
Юров Д.В.	494, 495, 496	
Юрченко Ю.Б.	231, 344	
Юшков А.Н.	40, 41, 43, 44, 45, 51, 52, 54, 56, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 75, 76, 78, 80, 81, 83, 92, 96, 222, 253, 254, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 25п, 26п, 27п, 28п	
***		****
Яминов К.Р.	405, 426	
Яровой В.А.	304, 378, 508	

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА СО РАН

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ

2011

Обложка Е.Д. Бендер

Ответственный за выпуск А.В. Васильев

Работа поступила 10.03. 2012 г.

Сдано в набор 28.04. 2012 г.

Подписано в печать 11.05. 2012 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 15,7 печ.л., 12,6 уч.-изд.л.

Тираж 200 экз. Бесплатно. Заказ № 13

Обработано на РС и отпечатано

на ротапинтере «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11