

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМЕНИ Г.И.БУДКЕРА
Сибирского отделения Российской академии наук

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ
2012

Новосибирск 2013

Оглавление

Введение	7
1. Физика элементарных частиц	13
1.1 Детектор КМД-3	15
1.2 Детектор СНД	17
1.2.1 Эксперименты на ВЭПП-2000	17
1.2.2 Состояние детектора	17
1.2.3 Состояние программного обеспечения	17
1.2.4 Анализ данных	18
1.2.5 Калибровка энергии	22
1.3 Детектор КЕДР	24
1.4 Результаты работы детектора КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М	26
1.5 Детекторы для ФВЭ	28
1.6 Рентгеновские детекторы	28
1.7 Прочие работы	28
1.8 Микроструктурные газовые детекторы	29
1.8.1 Двухфазные криогенные лавинные детекторы на основе ТГЭУ	29
1.8.2 Модернизация системы рассеяных электронов в эксперименте КЕДР	32
1.8.3 Участие в коллаборациях	33
1.9 Эксперимент BELLE	34
1.9.1 Основные результаты	34
1.9.2 Анализ данных	34
1.9.3 Модернизация детектора	40
1.10 Эксперимент BABAR	44
1.11 Участие в эксперименте ATLAS на большом адронном коллайдере	45
1.12 Эксперимент LHCb	47
1.12.1 Техническое обеспечение работы детектора LHCb	47
1.12.2 Физические результаты	47
2. Электро- и фотоядерная физика	51
2.1 Эксперименты с внутренними мишенями	53
3. Теоретическая физика	57
3.1 CP несохранение	59
3.2 Гравитация	59
3.3 Квантовая хромодинамика	59
3.4 КЭД	64
3.5 Гравитация и астрофизика	65
3.6 Хаос	66
4. Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез	69
4.1 Исследования на установке ГДЛ	71
4.1.1 Изучение кинетических неустойчивостей	72
4.1.2 Состояние работ по дополнительному ЭЦР нагреву плазмы на установке ГДЛ	74
4.1.3 Состояние работ по подготовке эксперимента с инжекцией эл. пучка в ГДЛ	74
4.1.4 Эксперименты со смещением осевых линий атомарных пучков	75
4.1.5 Измерения плотности потока тепла на срезе пробки	75
4.2 Установка ГОЛ-3	76
4.2.1 Описание и основные режимы работы установки	76
4.2.2 Терагерцовое излучение при релаксации релятивистского электронного пучка	77
4.2.3 Мотивация исследований с инжекцией длинноимпульсного электронного пучка	78

4.2.4	Источник длинноимпульсного электронного пучка с плазменным эмиттером	78
4.2.5	Инжекция длинноимпульсного электронного пучка в ГОЛ-3	79
4.2.6	Нагрев плазмы	80
4.2.7	СВЧ-излучение при релаксации слаборелятивистского электронного пучка	81
4.2.8	Заключение по результатам работы ГОЛ-3	82
4.3	Теория плазмы	83
4.3.1	Альфвеновская ионно-циклотронная неустойчивость	83
4.3.2	Развитие теории электронно-циклотронного нагрева	83
4.3.3	Теоретические исследования механизмов генерации электромагнитного излучения в турбулентной плазме	83
4.3.4	Изучение двухмерных эффектов на нелинейной стадии пучково-плазменного взаимодействия	83
4.3.5	Оптимизация реактора на основе открытой ловушки	84
4.4	Инжекторы пучков быстрых атомов и ионов	84
4.4.1	Инжекторы пучков быстрых атомов	84
4.4.2	Разработка мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода ..	84
4.5	Установка ГДМЛ-Т	85
4.5.1	Концептуальный проект установки ГДМЛ-Т	85
4.5.2	Сверхпроводящая магнитная система	86
4.5.3	Система создания стационарного плазменного потока	86
4.5.4	Генератор электронного пучка	87
4.5.5	Заключение	88
4.6	Исследования генерации ММ-излучения на установке ЭЛМИ	88
4.6.1	Введение	88
4.6.2	Схема эксперимента	88
4.6.3	Результаты исследований	89
4.6.4	Подготовка экспериментов по двухстадийной генерации терагерцового излучения	91
5.	Установки со встречными электрон-позитронными пучками	93
5.1	Работа ВЭПП-2000 в режиме круглых пучков и планы модернизации	95
5.1.1	Круглые пучки ВЭПП-2000	95
5.1.2	Модернизация БЭП и канал К-500	98
5.1.3	Резонансная деполяризация на ВЭПП-2000	99
5.2	Ускорительный комплекс ВЭПП-4	101
5.2.1	Распределение рабочего времени	101
5.2.2	Эксперимент ДЕЙТРОН на ВЭПП-3	101
5.2.3	Выведенный пучок на ВЭПП-4М	101
5.2.4	Система регистрации рассеянных электронов	102
5.2.5	7-полусная «змейка» с полем 3Т	102
5.2.6	Эксперимент по проверке СРТ-инвариантности	102
5.3	Инжекционный комплекс ВЭПП-5	104
5.3.1	Работы, выполненные в 2012 году	104
5.3.2	Работы по изучению кильватерного ускорения	104
5.4	Электронно-лучевая сварка	104
5.4.1	Работы, выполненные в 2012 году	104
5.4.2	Вакуумные системы для электрон-позитронных коллайдеров высокой интенсивности	104
5.5	Технический проект линейного индукционного ускорителя ЛИУ-20Р	106
5.6	Квадрупольные линзы для NSLS-II	106
5.7	Импульсное питание системы впуск-выпуск для бустера NSLS-II	109
5.8	Соединительный модуль для европейского XFEL	111
5.9	Установка электронного охлаждения	113
5.9.1	Установка электронного охлаждения для немецкого синхротрона COSY	113
5.9.2	Компас для измерения прямолинейности силовой линии	113

5.9.3	Профилометр электронного пучка	114
5.9.4	Коллектор с фильтром Вина	114
5.10	Ускорительный масс-спектрометр	115
5.11	Вакуумные системы	116
5.11.1	Электронные облака	116
5.11.2	Вакуумная система бустера NSLS-II	119
5.11.3	Исследование активационных и газопоглощающих характеристик картриджа Wafer Module на базе геттера St□707	119
.....		
6.	Синхротронное излучение и лазеры на свободных электронах	123
6.1	Введение	125
6.2	Работа на пучках СИ из ВЭПП-3	125
6.2.1	Станция «Экстремального состояния вещества»	125
6.2.2	Станция «LIGA-технология и рентгеновская литография»	127
6.2.3	Станции «Аномальное рассеяние» и «Презиционная дифрактометрия»	128
6.2.4	Станция «Рентгенофлуоресцентный анализ»	132
6.2.5	Станция «Дифрактометрия с использованием жесткого излучения»	135
6.2.6	Станция «Рентгеновская микроскопия и томография»	136
6.2.7	Станция «Дифракционное кино»	138
6.2.8	Станция «EXAFS-спектроскопия»	139
6.3	Работы на пучках СИ из ВЭПП-4М	142
6.3.1	Метрологическая станция «Космос»	142
6.3.2	Вывод излучения из 7-ми полюсной змейки в бункер СИ ВЭПП-4	143
6.4	Работа с пучками терагерцового излучения	145
6.4.1	Новосибирский терагерцовый лазер на свободных электронах	145
6.4.2	Эксперименты на пучках ТГц излучения	145
6.4.3	Модернизация ЛСЭ и запуск третьей очереди ускорителя-рекуператора	146
6.4.4	Сборка ондуляторов для третьей очереди ЛСЭ и коррекция поля в них	147
6.4.5	Результаты 2012 года и планы на 2013 год	147
6.5	Разработка и создание специализированных генераторов СИ	148
6.5.1	Сверхпроводящие вигглеры	148
7.	Радиофизика и электроника	151
7.1	Источники питания электрофизических установок	153
7.1.1	Источники стабилизированного тока	153
7.2	Высоковольтные источники постоянного стабилизированного напряжения	154
7.2.1	Источники высоковольтного питания атомарных инжекторов для диагностики и нагрева плазмы в плазменных установках	154
7.2.2	Источники высоковольтного питания ускорительных трубок	155
7.2.3	Импульсивные источники питания электромагнитов ускорительных комплексов ..	155
7.3	Разработка измерительных систем и устройств автоматизации физических экспериментов	155
7.4	Разработка нестандартной и специальной электроники	158
7.5	Исследования, связанные с моделированием и решением электростатических и электродинамических задач ускорительной физики	158
7.6	Новая ВЧ система 174 МГц для накопителя БЭП	160
7.7	Пассивный одномодовый ВЧ-резонатор на 816 МГц	160
7.8	Работы с ВЧ системой накопителя ВЭПП-4	160
7.9	Разработка высокочастотных систем для мощных инжекторов пучков нейтральных атомов для плазменных установок	161
7.9.1	Высокочастотная система диагностического инжектора нейтральных пучков RUDI-X для стелларатора «Вандельштейн»	161
7.9.2	Высокочастотная система для мощного, непрерывного инжектора пучков	

быстрых атомов водорода	162
7.10 Ускоряющие структуры CCDTL для LINAC4	162
7.11 Ускоряющие высокочастотные станции ионного бустера коллайдера NICA-MPD	163
7.12 Восстановление высокочастотных систем электронного ускорителя в KAERI.....	166
7.13 Высокочастотный инжектор микротрона-рекуператора	166
7.14 Высокочастотная пушка для ускорителя РФЯЦ-ВНИИЭФ	166
7.15 Модернизация ВЧ системы микротрона ЛСЭ	166
8. Мощные электронные ускорители	167
8.1 Поставки ускорителей типа ИЛУ	169
8.2 Разработка мощных ускорителей электронов для исследовательских целей и новых технологий	170
8.3 Разработка новых радиационных технологий	171
9. Физика для медицины	173
9.1 Статус работ по БНЗТ	175
9.1.1 Введение	175
9.1.2 Темновые токи	175
9.1.3 Инжекция пучка	176
9.1.4 Обдирочная мишень	176
9.1.5 Модификация проходного изолятора	176
9.1.6 Темная материя	176
9.1.7 Результаты и перспективы	177
9.2 Детекторы рентгеновского излучения для медицины и досмотра людей	178
9.2.1 Малодозовая Цифровая Рентгенографическая Установка (МЦРУ) «Сибирь»	178
9.2.2 Система Рентгеновского Контроля (СРК) «Сибскан» для досмотра людей.....	178
Библиография	179
Список публикаций	179
Препринты	222
Авторефераты	225
Участие в конференциях	226
Соглашения о сотрудничестве	228
Состав научных сотрудников	231
Члены Российской академии наук	231
Дирекция	231
Учёный совет	231
Секции учёного совета по направлениям	232
Научные работники и их публикации	235

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 (более 2800 сотрудников). Среди 417 научных сотрудников Института 11 академиков и членов-корреспондентов РАН (по состоянию на конец 2012 года), 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 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 65 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 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 года);
- 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 года);
- 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 нейтронных 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 года);
- 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 «охлаждителями» ускорительные комплексы 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 (Х-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 года);
- 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: многопробочной, с вращающейся плазмой, амбиполярной, газодинамической; экспериментальное осуществление многопробочного 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 года)

В области синхротронного излучения и лазеров на свободных электронах:

- использование синхротронного излучения накопителей ИЯФ 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-нейтрон-захватной 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. ИЯФ 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 более чем на полмиллиарда рублей 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.

ИЯФ 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 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 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 глубоко интегрирован в работы РАН и СО РАН, осуществляя выполнение 18 проектов по программам Президиума РАН и отделений РАН, 24 проектов в рамках интеграционных программ СО РАН. Институт является исполнителем 27 государственных контрактов и соглашений в рамках ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным

направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 - 2013 годы" и "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009 - 2013 годы; более 60 проектов РФФИ, в том числе – 22 проекта по новому конкурсу Фонда "мой первый грант".

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 ESI, 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 2012 года Ученый Совет ИЯФ признал следующие работы:

В области ядерной физики, физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий:

- 1) На накопителе ВЭПП-3 впервые определен вклад двухфотонного обмена в упругое рассеяние электронов и позитронов на протоне.
- 2) В составе коллаборации ATLAS на Большом адронном коллайдере впервые наблюдался бозон Хиггса.
- 3) Проведено первое модельно-независимое измерение угла ϕ_3 треугольника унитарности в распадах В-мезонов в экспериментах Belle и LHCb.
- 4) В совместной работе Института катализа и Института ядерной физики по созданию детектора черенковских колец на основе фокусирующего аэрогеля достигнут рекордно высокий уровень разделения мюонов и пионов.
- 5) Впервые показано, что гипотеза о существовании гравитационного 4-фермионного взаимодействия приводит к противоречию с космологией Фридмана-Робертсона-Уокера.
- 6) В квантовой хромодинамике и в суперсимметричной теории Янга-Миллса с $N=4$ в следующем за главным приближении найдено ядро уравнения Бартелса-Квичинского-Прашаловича в оддеронном канале.
- 7) В суперсимметричной теории Янга-Миллса с $N=4$ в следующем за главным порядке найдены собственные значения ядра уравнения БФКЛ для присоединенного представления калибровочной группы.

- 8) Точно по величине атомного поля найдена зарядовая асимметрия в процессе рождения электрон-позитронных пар фотоном высокой энергии в поле тяжелого атома.
- 9) Предсказано существование сверхпроводящих и непроводящих состояний для электронов в одномерном наноканале-ондуляторе.

В области физики плазмы:

- 1) На установке Газодинамическая ловушка (ГДЛ) достигнута рекордная для осесимметричных магнитных ловушек открытого типа величина давления плазмы по отношению к давлению магнитного поля - $\beta = 0,6$.
- 2) В экспериментах на многопробочной ловушке ГОЛ-3 впервые проведены эксперименты по нагреву плазмы и генерации субтерагерцового излучения при инжекции в плазму с плотностью $10^{19}-10^{20} \text{ м}^{-3}$ электронного пучка с мощностью до 10 МВт, энергией 100кэВ и длительностью до 300 мкс.
- 3) Впервые в мире предложен и успешно реализован в экспериментах на установке ГДЛ метод вихревого удержания плазмы в осесимметричных магнитных ловушках.
- 4) Совместно с ИПФ РАН и НГУ впервые создан планарный мазер на свободных электронах с ленточным релятивистским электронным пучком и комбинированным резонатором, содержащим двумерные брегговские зеркала.
- 5) В совместных экспериментах с Висконсинским университетом, США впервые продемонстрирован эффективный нагрев плазмы и стабилизация МГД неустойчивостей в пинче с обращенным полем при мощной атомарной инжекции.

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

- 1) На коллайдере ВЭПП-2000 впервые экспериментально обнаружена интерференция γ -квантов МэВного диапазона при обратном комптоновском рассеянии лазерного излучения на электронном пучке в магнитном поле.
- 2) В ИЯФ СО РАН создана и поставлена на коллайдер BEPC II (Китай) уникальная система измерения энергии электронного и позитронного пучков с помощью обратного комптоновского рассеяния, позволяющая существенно улучшить точность измерения массы тау-лептона.
- 3) Разработан, создан и поставлен в Брукхейвенскую национальную лабораторию (США) бустерный синхротрон с энергией 3 ГэВ и рекордно высокой для такого класса установок проектной интенсивностью пучка.
- 4) Построен и запущен первый в мире четырёхдорожечный ускоритель-рекуператор.

- 5) Разработана уникальная методика ультрабыстрых спектральных измерений высокого разрешения в терагерцовом диапазоне.
- 6) Разработан метод изготовления дифракционных преломляющих интраокулярных линз с помощью ЛИГА технологии на пучке синхротронного излучения.

За большой вклад в развитие науки и многолетнюю плодотворную деятельность академик Диканский Н.С. награжден орденом Дружбы.

Премия имени В.И. Векслера 2012 года Российской академии наук за цикл работ «Установка с круглыми встречными электрон-позитронными пучками для прецизионного измерения адронных сечений в области энергий до 2 ГэВ» присуждена коллективу в составе: Кооп И.А., Переведенцев Е.А. и Шатунов Ю.М..

Премия Сибирского отделения Российской академии наук имени академика Г.И.Будкера за работу «Особенности развития плазменной турбулентности под действием мощного электронного пучка» присуждена Тимофееву И.В..

Семь молодых ученых Института – Барняков А.Ю., Приходько В.В., Романов А.Л., Солдаткина Е.И., Соломахин А.Л., Тимофеев И.В. и Штоль Д.А. – стали лауреатами конкурса на получение именной стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых в 2012 году.

Памятной медалью «За вклад в развитие Новосибирской области» в связи с 75-летием Новосибирской области награждены 22 сотрудника Института.

В отчетном году в Институте продолжали работу три диссертационных Совета с правом приема докторских (кандидатских) диссертаций. Всего проведено 11 заседаний, на которых были защищены 2 докторских и 9 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 2000 человек, проведены выездные лекции в новосибирских школах.

1

ФИЗИКА

ЭЛЕМЕНТАРНЫХ

ЧАСТИЦ

1.1. ДЕТЕКТОР КМД-3

На рис. 1.1.1 показана фотография детектора КМД-3 в экспериментальном зале ВЭПП-2000.

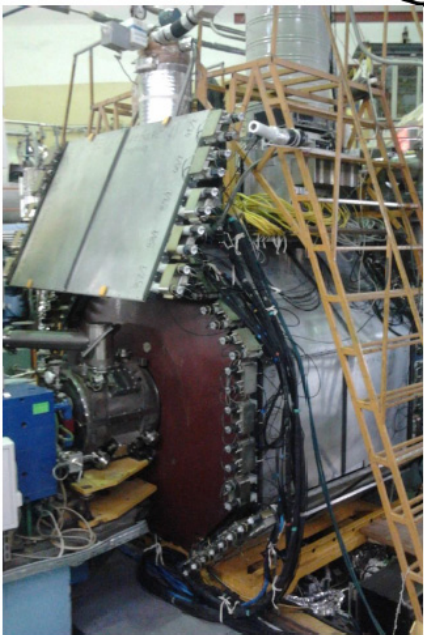


Рис. 1.1.1. Детектор КМД-3 в экспериментальном зале ВЭПП-2000.

В течение 2012 года с детектором КМД-3 было выполнено четыре сеанса набора данных. График набора данных с детектором КМД-3 в 2012 году показан на рис. 1.1.2.

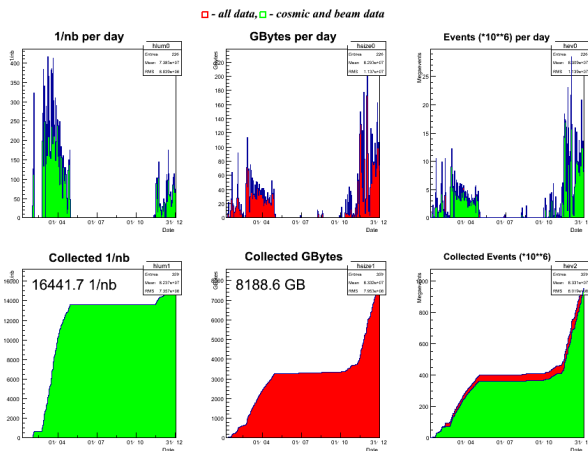


Рис.1.1.2. График набора данных с детектором КМД-3 в 2012 году.

Первый сеанс начался в январе 2012 года и традиционно включал в себя сканирование области энергии ϕ мезона для калибровки энергетической шкалы коллайдера ВЭПП-2000. В 6 точках с энергией пучка в диапазоне 508 – 513 МэВ был набран интеграл светимости 240 nb^{-1} , что соответствует 12 миллионам записанных физических событий.

Второй сеанс набора данных был проведен в феврале-мае 2012 году в диапазоне энергий 1,28 — 1,98 ГэВ в системе центра масс с шагом по энергии пучка 40 МэВ. В итоге измерения были проведены в 16 энергетических точках, а записанный интеграл светимости составил около 13 pb^{-1} , что соответствует 350 миллионам физических событий или 3 ТБ данных, записанных на диски.

Используя эту информацию, совместно с данными 2011 года в области энергий 1,05 — 2,0 ГэВ, был закончен анализ процесса $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$.

Сечение рождения шести заряженных пионов измерено в области энергий 1,5 — 2,0 ГэВ с систематической ошибкой не превышающей 6%.

На рис. 1.1.3 показана зависимость измеренного сечения $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ от энергии в системе центра масс.

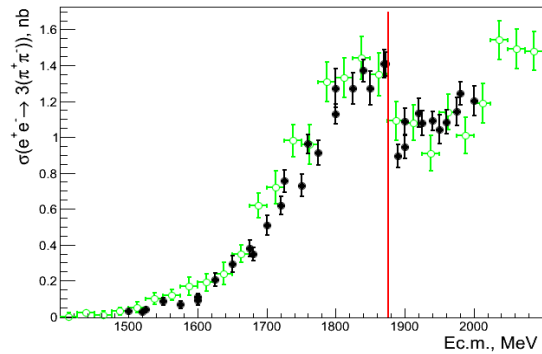


Рис. 1.1.3 Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ в зависимости от энергии. Черные точки — результаты эксперимента КМД-3, открытые точки — результаты эксперимента BaBar. Вертикальная линия показывает порог рождения пары протон-антипротон.

Также было выполнено предварительное изучение динамики рождения конечного состояния $3(\pi^+\pi^-)$. По результатам этой работы подготовлена и направлена в печать научная публикация.

Кроме того, на основе полученных в этом экспериментальном заходе данных было продолжено изучение процессов, начатое в 2011 году. В частности, получены предварительные результаты по измерению сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$. На рис. 1.1.4 показана энергетическая зависимость сечения этой реакции, полученная на детекторе КМД-3.

Черными точками показаны результаты, полученные на детекторе КМД-3, открытые точки иллюстрируют результат детектора BaBar. В настоящее время ведется изучение динамики.

В 2012 году на детекторе КМД-3 было продолжено изучение процесса e^+e^- аннигиляции в пару протон – антипротон. На рис. 1.1.5 показана зависимость сечения этого процесса от энергии. Черные точки демонстрируют предварительный результат

эксперимента КМД-3, а открытыми точками обозначены данные эксперимента ВаВаг.

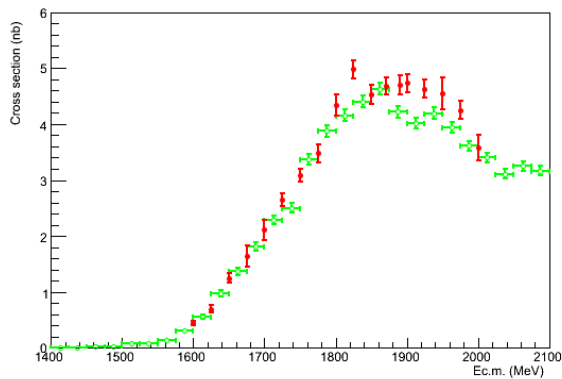


Рис. 1.1.4. Зависимость от энергии сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$ (предварительно). Черные точки – результаты эксперимента КМД-3, открытые точки – данные детектора ВаВаг.

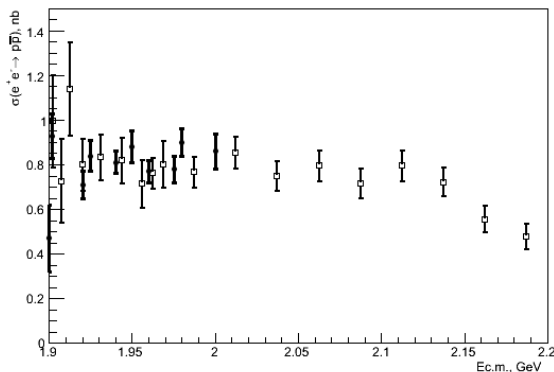


Рис. 1.1.5. Зависимость от энергии сечения e^+e^- -аннигиляции в пару протон-антипротон. Черные точки – предварительный результат с детектора КМД-3, открытые точки – результат детектора ВаВаг.

Из анализа угловых распределений было определено отношение электрического и магнитного формфакторов протона. На рис. 1.1.6 показаны результаты этого исследования. Черные точки демонстрируют величину отношения формфакторов, полученную на детекторе КМД-3, а открытые точки соответствуют измерению, выполненному на ВаВаг.

В сентябре 2012 года на ВЭПП-2000 начала работать система измерения энергии пучков с помощью обратного комптоновского рассеяния лазерного света на пучке электронов в накопительном кольце. Для настройки этой системы вновь было выполнено сканирование области энергий ϕ мезона. В этом третьем сеансе данные набирались в 10 точках в диапазоне энергии пучка 507 – 525 МэВ. Интеграл светимости составил 683 нб^{-1} , что соответствует 130 миллионам физических событий, записанных на диски. В этом сеансе энергия пучка в накопителе ВЭПП-2000 контролировалась системой измерения энергии по обратному комптоновскому рассеянию. В результате анализа этих данных были измерены

кривые возбуждения ϕ резонанса в каналах распада в K^+K^- , $K_L K_S$, $\pi^+\pi^-\pi^0$. Параметры ϕ мезона, полученные при этом, хорошо согласуются между собой и со среднемировыми значениями.

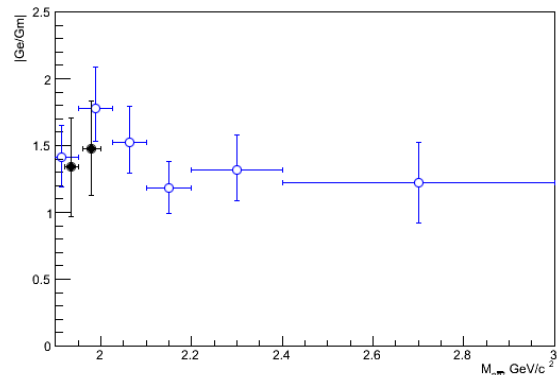


Рис.1.1.6. Отношение электрического и магнитного формфакторов протона, измеренное в эксперименте КМД-3 (черные точки, предварительно) и на детекторе ВаВаг (открытые точки).

В самом конце года был начат набор данных в области ρ - ω резонансов для измерения формфактора заряженного пиона. В ноябре-декабре 2012 года просканирована область энергии 0,77 – 0,788 ГэВ в системе центра масс с шагом по энергии пучка 1 МэВ. Суммарный интеграл светимости, набранный в 8 энергетических точках, составил около 340 нб^{-1} . На основе анализа этих данных получена кривая возбуждения ω мезона в канале распада $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$. Контроль энергии пучка в этом сеансе также осуществлялся системой измерения энергии методом обратного комптоновского рассеяния. Это позволило выявить нестабильности в работе системы и наметить пути их устранения. В настоящее время набор данных с детектором КМД-3 в области ρ -резонанса продолжается и параллельно ведется физический анализ, позволяющий оперативно отслеживать качество данных с детектора и работоспособность его систем.

1.2. ДЕТЕКТОР СНД

1.2.1. Эксперименты на ВЭПП-2000.

Набор статистики в сезоне 2012 года начался в феврале. Главной частью программы эксперимента 2012 года было сканирование диапазона энергии в системе центра масс $2E = \sqrt{s}$ от 1280 до 2000 МэВ. Перед началом сканирования была откалибрована энергия коллайдера. Для этого было проведено короткое сканирование энергетического интервала вблизи ϕ -мезонного резонанса, по которому была измерена масса ϕ -мезона. Измерение показало правильность установки энергии коллайдера. К концу апреля были накоплены данные с интегральной светимостью около 13 пб^{-1} , что составило около половины заявленной программы. Средняя по заходу светимость изменялась в пределах от 2 до $10 \times 10^{30} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$. Осенью 2012 года эксперименты были продолжены в районе ω резонанса в диапазоне энергии $2E$ ниже 1000 МэВ. Средняя светимость составила $2 \times 10^{30} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$. К концу года было накоплено $1,5 \text{ пб}^{-1}$ интегральной светимости.

1.2.2. Состояние детектора.

Одновременно с проведением эксперимента продолжалась модернизация детектора СНД, необходимая для продолжения набора данных во всем диапазоне энергии ВЭПП-2000.

Была разработана процедура абсолютной калибровки измерения z -координаты по зарядовому делению, в которой в качестве реперов служат координаты кластеров катодных полосок. Для калибровки использовались события процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$. В результате точность восстановления z -координаты точки вылета заряженных частиц с использованием полосок улучшилась на 25% и составила $\simeq 2 \text{ мм}$.

В 2012 году были измерены зависимости от энергии средних сигналов с черенковских счётчиков от каонов, мюонов и пионов. Полученные данные используются для создания параметров идентификации частиц.

В калориметре СНД работоспособно 97% счётчиков. В 2012 году завершена замена электроники первого слоя. Во время замены электроники были сняты все вакуумные фототриоды, проверены их параметры и приборы со слабым сигналом были заменены. Новая электроника для второго и третьего слоёв была испытана на прототипах и в настоящее время находится в изготовлении. Энергетическое разрешение калориметра для фотонов с энергией 0,7 – 1 ГэВ практически одинаково и составляет около 5,4%.

По данным 2011 года была измерена эффективность регистрации мюонной системой мюонов с энергией больше 600 МэВ от процесса $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. Она составила более 96%. При определении

эффективности требовалось, чтобы на протяжении трека в камере и калориметре сработали как пропорциональные трубки, так и сцинтилляционные счётчики. Причины отклонения эффективности от 100% изучаются.

Были проведены испытания на стенде новых плат канала электроники калориметра: формирователь – ФЛЭШ АЦП. Новый канал позволит помимо амплитуды сигнала определять время срабатывания счётчиков калориметра, что особенно необходимо для измерения сечения процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$. Временное разрешение, измеренное на космических мюонах и по генератору, составило 1,5 нс, амплитудное разрешение, измеренное по генератору, составило 0,5%, что соответствует 1,25 МэВ. Сейчас планируется установить несколько новых плат непосредственно в кейты электроники СНД для дальнейшей проверки.

1.2.3. Состояние программного обеспечения.

За прошедший период существенно выросло число пользователей программного обеспечения (ПО) обработки и моделирования. Это привело к скрупулезному анализу его работы и исправлению большого количества ошибок, неэффективностей, реализации новых возможностей. Было выпущено два релиза ПО (4.2 и 5.1), начата подготовка нового большого релиза.

В общей части ПО были сделаны изменения, направленные на то, чтобы его использование максимально упростить и стандартизировать. К этим изменениям можно отнести: организацию иерархии одинаковых наборов модулей; стандартизацию блоков настроек для различных сценариев использования ПО; создание возможности делать унаследованные и комбинированные объекты; расширение объема памяти для PAWC; реализацию возможности клонирования модулей и последовательностей, добавление модулей в последовательности; управление сборкой в целях уменьшения числа ненужных или даже вредных зависимостей; модификацию модулей контроля по событиям и модулей третичного триггера таким образом, чтобы их можно было использовать также со стандартной обработкой и моделированием.

Из изменений в моделировании можно отметить: создание новых первичных генераторов e^+e^- аннигиляции в различные конечные состояния, такие, как: 3γ , $\mu^+\mu^-$, $\omega\pi^+\pi^-$, $e^+e^-2\gamma$, $\eta\omega$, $2\pi^0\pi^+\pi^-$, введение дополнительного к существующему генератору электрон-позитронного рассеяния (BHWIDE) и существующих в UNIMOD первичных генераторов; переход на версию Geant4 9.5; моделирование дополнительных характеристик для счетчиков калориметра, катодных полосок в пропорциональной и дрейфовой камерах; установку параметров места встречи для первичного моделирования из базы

данных калибровок; разработку и реализацию программной части процедуры подмешивания случайных срабатываний каналов детектора (наложений) к моделированным событиям.

Калибровка данных и их реконструкция также значительно продвинулись: улучшена точность восстановления параметров частиц за счет поправок к энергии и углам кластеров калориметра; создан новый алгоритм, основанный на сегментированном гистограммном методе с использованием пар срабатываний (автор Д. А. Букин), обеспечивающий лучшую эффективность; кластеры катодных полосок интегрированы в объект "частицы"; реализовано вычисление положения и разброса места встречи пучков; создан метод для учета скачков в измеренном времени дрейфа, связанных с неправильным определением момента встречи пучков; реализован программный пакет так называемой кинематической реконструкции событий для работы с записанными наборами параметров частиц (HBOOK n-tuples) и так далее.

Проведена массовая реконструкция и отбор (перекачка) событий сканирований 2009–2010 и 2010–2011 годов. Для этой цели использовался доступ к суперкомпьютерному кластеру НГУ.

Реализация доступа основывалась на виртуализации с двухуровневой организацией системы пакетной обработки: виртуальные машины запускаются постановщиком заданий на суперкомпьютерном кластере, и, в свою очередь, регистрируются в системе пакетной обработки уже для пользовательских заданий. По той же схеме произведен довольно значительный объем событий моделирования.

1.2.4. Анализ данных.

Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ был исследован в моде распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ по данным эксперимента 2010 года и части данных 2011 года. Отбирались события с двумя заряженными частицами и с двумя или тремя фотонами. Требовалось, чтобы заряженные частицы вылетали из места встречи пучков. Для подавления пучкового электродинамического фона требовалось, чтобы полное энерговоыделение в калориметре находилось в пределах $(0,6 \div 1,8)E$.

Для заряженных треков проводилось фитирование в общую вершину в предположении, что в плоскости, перпендикулярной оси пучков, она совпадает с положением места встречи пучков. На χ^2 этого фита накладывалось довольно мягкое условие $\chi_r^2 < 100$. Полученная z -координата вершины использовалась для перевычисления полярных углов фотонов.

Далее проводилась кинематическая реконструкция в гипотезе конечного состояния $\pi^+\pi^-\gamma\gamma$. При наличии нескольких фотонов в событии реконструкция проводилась для всех двухфотонных комбинаций, а затем выбиралась комбинация с наи-

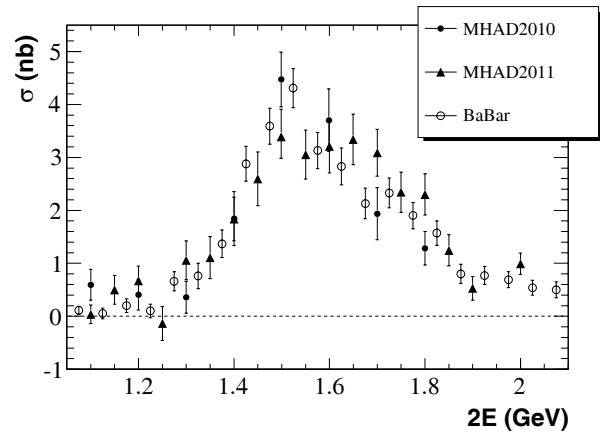


Рис.1.2.1: Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$, измеренное СНД по данным 2010 года и 2011 года. Для сравнения приведены результаты BABAR.

меньшим χ^2 . На окончательный χ^2 реконструкции накладывалось условие $\chi_{\pi^+\pi^-\gamma\gamma}^2 < 60$.

Определение числа событий эффекта производилось путем аппроксимации распределения по инвариантной массе пары фотонов суммой распределений для эффекта и фона. Эффект (пик от η -мезона) описывался суммой двух распределений Гаусса, а фон — полиномом второй степени.

Измеренное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ показано на Рис.2.1 вместе с данными эксперимента BABAR. Видно, что результаты СНД для сканирований 2010, 2011 годов и данные BABAR не противоречат друг другу.

Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ изучался в области энергии $2E$ от 1,05 до 2,00 ГэВ. В анализе использовались данные, записанные в эксперименте 2011 года. Основным фоном для изучаемого процесса в интересующей области энергии являются события процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$.

В анализе использовались события с двумя фотонами и двумя или тремя заряженными частицами из места встречи. Для подавления фона от процесса $e^+e^+ \rightarrow e^+e^-$ требовалось, чтобы угол отклонения от коллинеарности треков в плоскости, перпендикулярной пучку, был больше 10° ($|\Delta\phi| > 10^\circ$). Против пучкового и электродинамического фонов использовались условия на энерговоыделения в калориметре: полное энерговоыделение в событии должно находиться в пределах от $0,6E$ до $1,6E$, а энерговоыделение заряженных частиц должно быть меньше E .

К отобраным таким образом событиям была применена процедура кинематической реконструкции. На первом этапе производился поиск общей точки вылета и ее сопоставление с местом встречи, полученным из калибровки. При наличии трех треков в событии выбирались два трека, имеющие наименьшее значение χ_r^2 . Событие считалось хоро-

шим, если оно удовлетворяло условию $\chi_r^2 < 100$. Затем проводилась собственно кинематическая реконструкция в гипотезе, что событие происходит от процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-2\gamma$ и удовлетворяет законам сохранения энергии и импульса. На χ^2 реконструкции накладывалось условие $\chi^2 < 80$.

Для отобранных событий строился спектр инвариантных масс двух фотонов, который аппроксимировался суммой распределений для эффекта и фона, полученных в результате моделирования процессов $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ и $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ соответственно. Количество фоновых событий составляло 10–25% от отобранных событий. Полученное сечение вместе с данными измерения СНД на ВЭПП-2М при $2E < 1,4$ ГэВ и результатами детектора BABAR показано на Рис.1.2.2.

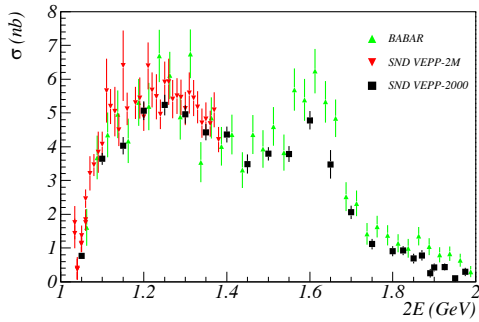


Рис. 1.2.2: Сравнение измеренного сечения $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ с предыдущим измерением на СНД на ВЭПП-2М ($2E < 1.4$ ГэВ) и результатами детектора BABAR.

Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$ был исследован в моде распада $\eta \rightarrow 3\pi^0$. В работе используется статистика, набранная с 2010 по 2012 год. Для искомого процесса в диапазоне энергий $530 \text{ МэВ} < E \leq 1000 \text{ МэВ}$ основной фон связан с процессами $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$, $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ и $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0\pi^0$ с распадом $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$. Для выделения искомого процесса и подавления вклада фоновых процессов были отобраны события без заряженных частиц с числом нейтральных частиц $N_\gamma \geq 7$, имеющих энерговыделение (E_{tot}) в калориметре от $1,4E$ до $2,4E$, суммарный импульс фотонов $p_{tot} \cdot c/2E$ меньше $0,3$. При этом должно выполняться соотношение $(E_{tot} - p_{tot} \cdot c)/2E > 0,7$, подавляющее вклад фоновых процессов с участием заряженных частиц. Событие должно удовлетворять гипотезе $e^+e^- \rightarrow n\gamma$ ($\chi_{n\gamma}^2 < 30$) и гипотезе $e^+e^- \rightarrow 3\pi^0\gamma$ ($\chi_{3\pi^0\gamma}^2 < 50$). Инвариантная масса отдачи наиболее энергичного фотона в событии находится в диапазоне $400 \text{ МэВ} < M_{rec \gamma} < 600 \text{ МэВ}$. Для подавления фона от процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ использовалось ограничение $\chi_{\pi^0\pi^0\gamma}^2 > 20$.

В диапазоне энергий от 530 до 1000 МэВ отобрано около 60 событий. Измерены параметры распадов

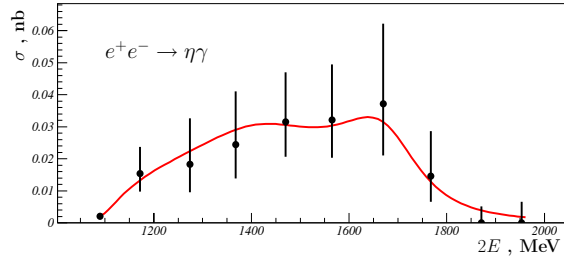


Рис. 1.2.3: Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$.

легких векторных мезонов в $\eta\gamma$ в канале распада $\eta \rightarrow 3\pi^0$:

$$\sigma_{\rho'} = (55,7_{-9,7}^{+11,2} \pm 1,6) pb,$$

$$\sigma_{\rho''} = (47,4_{-21,6}^{+72,1} \pm 1,3) pb,$$

где первая ошибка статистическая, вторая – модельная, третья – систематическая. Сечение процесса представлено на Рис.1.2.3. В настоящее время идет работа по уточнению светимости и исследованию систематических ошибок.

Особый интерес к процессам e^+e^- аннигиляции в шесть пионов связан с интерференционной структурой, наблюдающейся в сечениях процессов $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ и $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$ при энергии около 1,9 ГэВ, т. е. вблизи порога рождения пары нуклон-антинуклон. Эта структура впервые была обнаружена в эксперименте DM2(1988). Ее наличие было подтверждено в эксперименте BABAR(2006), где сечения этих двух процессов измерялись методом радиационного возврата. Данные BABAR являются фактически единственными опубликованными данными по сечениям $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ и $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$. Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-4\pi^0$ экспериментально не изучался.

Для предварительного анализа процессов e^+e^- аннигиляции в шесть пионов использовались данные 2011 года.

Чтобы выделить процесс $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ отбирались события с числом треков в дрейфовой камере большим или равным пяти. Требовалось, чтобы по крайней мере пять треков фитировались в общую вершину, которая в плоскости, перпендикулярной оси пучков, совпадает с местом встречи. Видимое сечение для отобранных таким образом событий приведено на Рис.1.2.4. (заштрихованные круги). Вертикальная пунктирная линия показывает положение порога рождения пары нуклон-антинуклон. Резонансная структура при энергии около 1,9 ГэВ ясно видна в измеренном сечении. Сечение пятитрековых событий ниже 1,6 ГэВ определяется фоном от процесса $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$ с лишним треком, например, от дельта-электрона. Требование наличия зарегистрированного шестого трека подавляет этот фон, но приводит к примерно

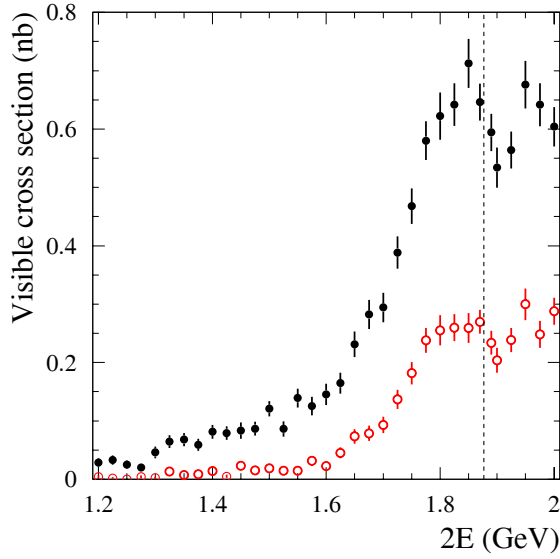


Рис. 1.2.4: Видимое сечение для отобранных пятитрековых (заштрихованные круги) и шеститрековых (пустые круги) кандидатов в события процесса $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$. Вертикальная пунктирная кривая показывает положение порога рождения пары нуклон-антинуклон.

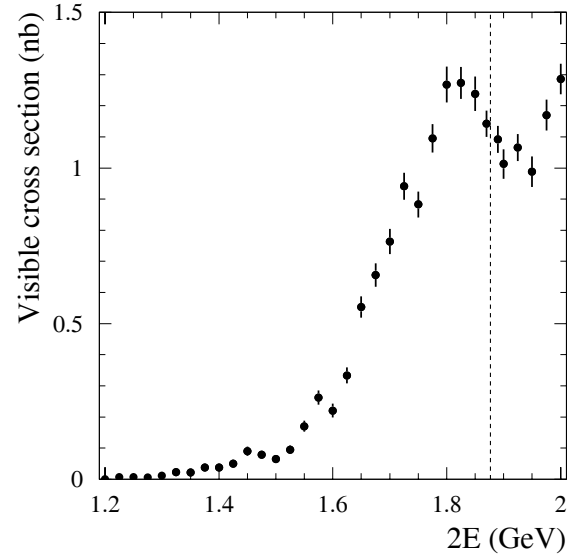


Рис.1.2.5: Видимое сечение для отобранных кандидатов в события процесса $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$. Вертикальная пунктирная кривая показывает положение порога рождения пары нуклон-антинуклон.

двукратному уменьшению статистики. Сечение шеститрековых событий приведено Рис.1.2.4. пустыми кругами. В дальнейшем фон от процесса $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$ предполагается вычитать с использованием моделирования.

При анализе процесса $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$ отбирались события с четырьмя треками в дрейфовой камере, которые фитируются в общую вершину, как было описано выше, и по крайней мере четырьмя фотонами. Для этих событий проводилась кинематическая реконструкция с 6 условиями: 4 законами сохранения энергии и импульса и 2 условиями, что инвариантные массы пар фотонов равны массе π^0 -мезона. Далее накладывалось условие на χ^2 кинематической реконструкции. Видимое сечение для отобранных событий показано на Рис.1.2.5. Здесь также видна интерференционная структура при энергии около 1,9 ГэВ.

При анализе процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ отбирались события с двумя треками в дрейфовой камере, которые фитируются в общую вершину, и по крайней мере с 8 фотонами, найденными в калориметре. Далее события подвергались кинематической реконструкции с 8 условиями: 4 законами сохранения энергии и импульса и 4 условиями на инвариантные массы пар фотонов. На χ^2 кинематической реконструкции накладывалось условие $\chi^2 < 50$. В данном случае значительная часть событий проис-

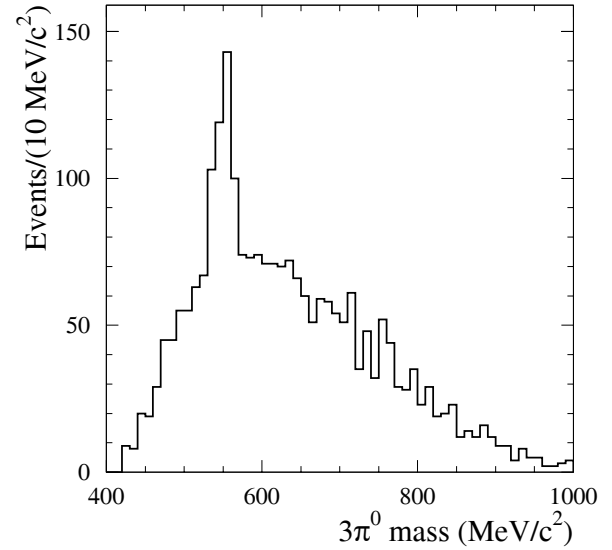


Рис.1.2.6: Распределении по инвариантной массе трех π^0 -мезонов с минимальной энергией для кандидатов в события процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$.

ходит от процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$ с распадом $\eta \rightarrow 3\pi^0$. Эти события легко увидеть в распределении по инвариантной массе трех π^0 -мезонов, показанном на Рис.1.2.6. В распределение включена только одна из четырех возможных комбинаций трех π^0 -мезонов, включающая в себя наименее энергич-

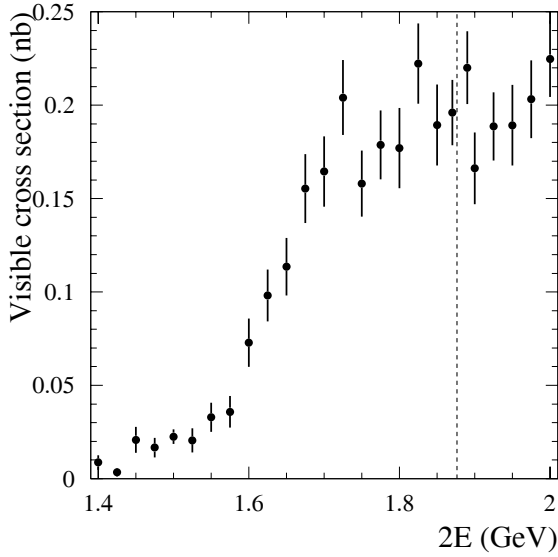


Рис. 1.2.7: Видимое сечение для отобранных кандидатов в события процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-4\pi^0$. Вертикальная пунктирная кривая показывает положение порога рождения пары нуклон-антинуклон.

ные частицы. Условие на эту инвариантную массу $0,51 < M_{3\pi^0} < 0,59$ ГэВ/ c^2 подавляло фон от процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$. Видимое сечение для отобранных событий показано на Рис.1.2.7. В данном случае при имеющемся уровне статистики резонансная структура не видна.

Для продолжения анализа требуется разработка генераторов событий для моделирования процессов e^+e^- аннигиляции в шесть пионов. Эта работа начата. Будет также проведено моделирование фоновых процессов: $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$, $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-2\pi^0$, $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-3\pi^0$ и других.

Результат по измерению сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$, полученный по данным СНД 2010 года, был опубликован в 2012 году. Здесь приводится предварительный результат по данным, полученным в 2010 и 2011 годах в области энергии $2E = 1,05 \div 2,00$ ГэВ.

На Рис.1.2.8 приведено полученное сечение изучаемого процесса и результаты предыдущих измерений на детекторах СНД(2000), КМД-2(2003), CLEO(2000) и DM2(1991). В работе DM2 сечение измерено в канале $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$. Оно было пересчитано с учетом относительных вероятностей распадов ω мезона, взятых из таблицы данных. В работе CLEO измерялась спектральная функция $\tau \rightarrow \omega\nu_\tau$. В предположении сохранения векторного тока было получено сечение изучаемого процесса. Интересно отметить, что наивное использование выражения, основанного на гипотезе о сохранении век-

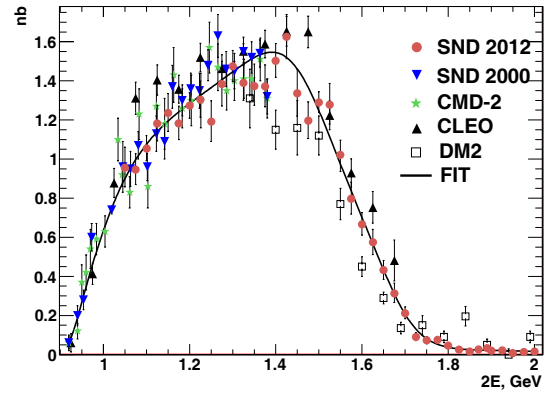


Рис. 1.2.8: Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$. На рисунке представлены результаты СНД(2012) (эта работа), СНД(2000), КМД-2, CLEO и DM2. Кривая — результат совместной аппроксимации данных СНД(2012) и СНД(2000).

торного тока, дает результат сдвинутый на 7-10 %. Также на Рис. 8 приведен результат совместной аппроксимации данных СНД, полученных в этой работе и в работе СНД(2000). Для аппроксимации была использована модель векторной доминантности с $\rho(770)$, $\rho(1450)$ и $\rho(1700)$ в промежуточном состоянии.

Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ было измерено по данным 2011 года. Для изучения эффекта использовалась статистика шести энергетических точек выше порога рождения протон-антипротонных пар, а для измерения фонового сечения — статистика двух точек ниже порога. В области от порога до 1,91 ГэВ ионизационный пробег образовавшихся заряженных нуклонов меньше толщины вакуумной камеры ВЭПП-2000, поэтому протон не регистрируется трековой системой, а аннигиляция антипротона порождает вторичные заряженные частицы, имеющие общую точку вылета на стенке вакуумной камеры. При энергии выше 1,92 ГэВ протон и антипротон регистрируются трековой системой как два коллинеарных трека с большой плотностью ионизации.

Основным условием отбора событий в двух энергетических точках вблизи порога было наличие трех и более заряженных треков, вылетающих из общей вершины на стенке вакуумной камеры. Два трека с наибольшими энерговыделениями в калориметре должны иметь $R > 0,3$ см, $|\Delta\phi| > 5^\circ$ и $|\Delta\theta| > 10^\circ$. Полное энерговыделение в калориметре должно находиться в диапазоне от 650 до 1400 МэВ. Эффективность регистрации для этих условий отбора, полученная по моделированию, составляет 21%.

Для четырех энергетических точек от 1,925 до 2

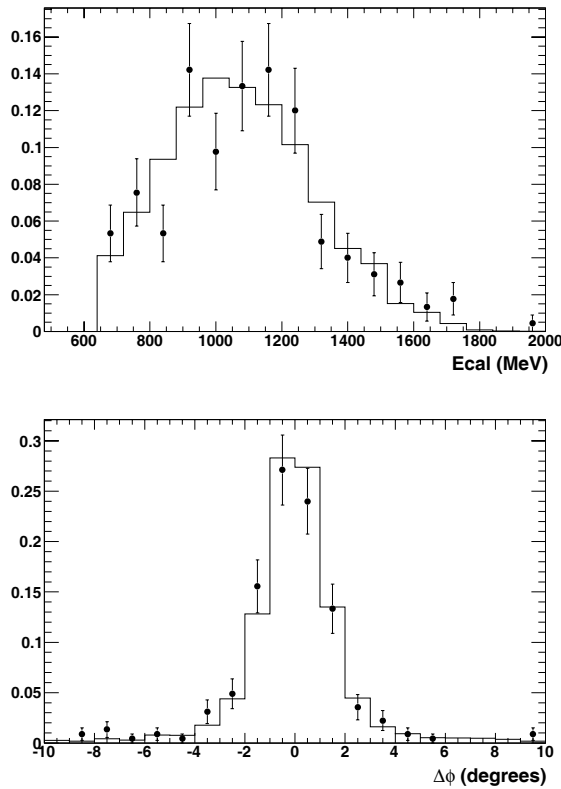


Рис. 1.9: Сравнение экспериментальных распределений отобранных событий процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ (точки) с результатами моделирования (гистограмма) при $2E = 2$ ГэВ. Приведены распределения по полному энерговыделению в калориметре (вверху) и углу отклонения от коллинеарности в плоскости, перпендикулярной пучку (внизу).

ГэВ требовалось наличие двух коллинеарных центральных треков с величиной dE/dx в 1,3 раза превышающей среднюю величину для треков упругого e^+e^- рассеяния. Требовалось отсутствие дополнительных треков из места встречи. Полное энерговыделение в калориметре должно превышать 650 МэВ, а энерговыделение в калориметре для одной из отобранных коллинеарных частиц должно быть меньше 300 МэВ. Использование низкого значения порога по dE/dx по сравнению с отношением реальных плотностей ионизации протонных и электронных треков, превышающим 10 в исследуемой области энергии, вызвано работой трековой системы СНД в режиме ограниченной пропорциональности. Эффективность регистрации, вычисленная по моделированию для этих условий отбора, находится в пределах от 45% до 58% при энергии от 1,925 до 2 ГэВ.

Сравнение распределений отобранных событий по полному энерговыделению в калориметре и расколлинеарности в плоскости, перпендикулярной

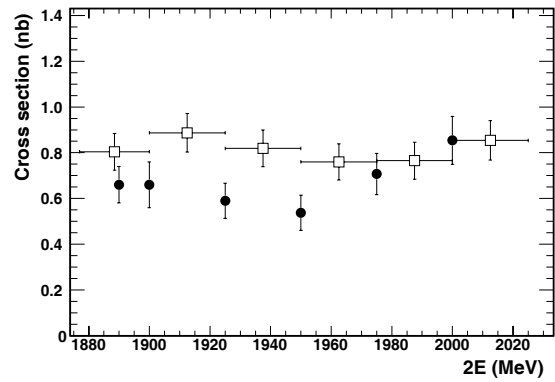


Рис.1.2.10: Энергетическая зависимость сечения процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$. Круги — предварительные результаты СНД, квадраты — результаты BABAR(2006).

пучку, с соответствующими распределениями для моделированных событий процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ (см. Рис.1.2.9.). Видно, что наблюдаемые в эксперименте распределения хорошо согласуются с моделированными.

Предварительные результаты СНД по борновскому сечению процесса приведены на Рис.1.2.10. Показаны только статистические погрешности. Анализ систематических погрешностей пока не завершен.

Продолжался анализ процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ по данным 2011 года. Условия отбора в целом остались прежними (см. Годовой отчет ИЯФ за 2011 год), добавлен лишь отбор по новому параметру “shcosm” для подавления широких атмосферных ливней в калориметре, которые пропускаются системой антисовпадений. Построено временное распределение для кандидатов в события $n\bar{n}$, показывающее наличие временной задержки на расчетном уровне, а также угловые и энергетические распределения. Для оценки систематики в сечении процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ варьировались условия отбора (Рис.1.2.11). Для систематической ошибки получена оценка 40%. Среднее сечение в диапазоне энергии от порога до 2 ГэВ составляет $0,44 \pm 0,18$ нб (ошибка статистическая).

1.2.5. Калибровка энергии

В 2012 году усилиями сотрудников нескольких лабораторий было завершено создание и запущена система измерения энергии пучка ВЭПП-2000 методом обратного комптоновского рассеяния излучения СО лазера В эксперименте с системой впервые наблюдалась интерференция гамма квантов МэВ-ного диапазона при обратном комптоновском рассеянии лазерного излучения на пучке электронов в магнитном поле. Разработано количественное описание формы спектра (Рис.1.2.12), позволяющее осу-

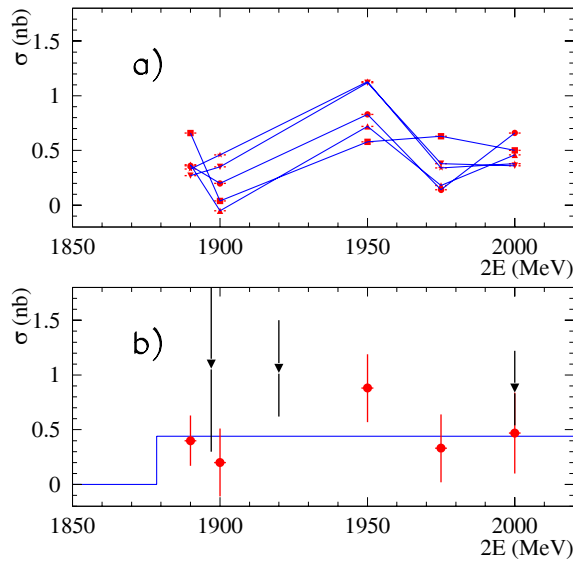


Рис. 1.2.11: а) изменение измеренного сечения $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ при вариации условий отбора, линии соединяют точки с одинаковыми условиями отбора; б) усредненное по нескольким вариантам отбора сечение процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ (круги), данные FENICE(1998) (треугольники).

пществовать абсолютную калибровку энергии коллайдера. В процессе набора статистики с детектором начались испытания этой системы. Судя по предварительным результатам, точность установки энергии ВЭПП-2000 при $E \approx 1$ ГэВ была не хуже 1 МэВ.

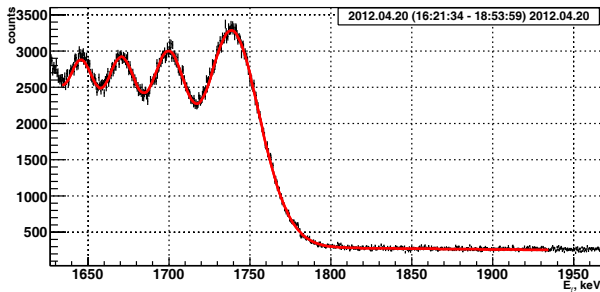


Рис.1.2.12: Край спектра рассеянных фотонов. Линия – аппроксимация теоретической формы спектра.

Работы выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России, базовых проектов ИЯФ СО РАН 13.1.1. и 13.3.1., проекта Отделения физических наук ОФН.1.1.2., грантов РФФИ 12-02-00065-а, РФФИ 12-02-01250-а, РФФИ 11-02-00276-а и научной школы НШ 5320.2012.2.

1.3. ДЕТЕКТОР КЕДР

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

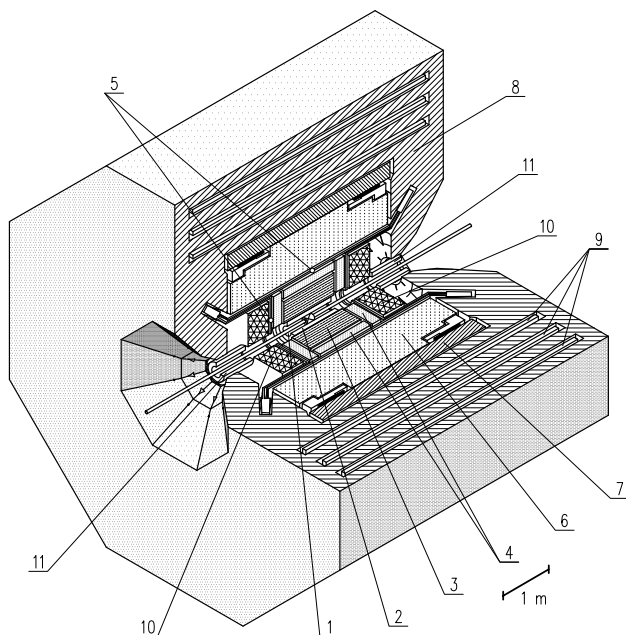


Рис. (1.3).1: Детектор КЕДР. 1 – вакуумная камера ускорителя, 2 – вершинный детектор, 3 – дрейфовая камера, 4 – аэрогелевые пороговые счётчики, 5 – времяпролётные счётчики, 6 – баррельный жидкокриптоновый калориметр, 7 – сверхпроводящая катушка, 8 – ярмо, 9 – мюонные камеры, 10 – торцевой CsI калориметр, 11 – компенсирующая катушка.

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 и [13].

В 2012 году были проведены испытания магнитной системы детектора КЕДР. Для этого на кольце ВЭПП-4М штатным образом собраны все детали магнитопровода и криогенной системы, обеспечивающей режим сверхпроводимости магнита детектора. Магнитные испытания показали, что при существующей конструкции магнитной и криогенной системы стабильно можно работать при полях

до 6кГс. После этого были начаты работы по внесению изменений в конструкцию криогенной системы, призванных улучшить стабильность работы и повысить рабочее поле в детекторе. После сборки магнитопровода детектора кольцо ускорителя ВЭПП-4М было замкнуто, и практически весь 2012 год проводились методические и прикладные работы с пучками без детектора КЕДР.

Ремонт и модернизация систем детектора. Подготовка к экспериментальному заходу с детектором КЕДР на ВЭПП-4М.

Ремонт и модернизация систем детектора КЕДР, были начаты в 2011 году и практически полностью были закончены в течение 2012 года. Сборка детектора и начало экспериментов на коллайдере ВЭПП-4М в области энергий $W = 3 - 8$ ГэВ запланированы на 2013 год. Ниже описан статус систем на конец 2012 года.

- Вершинный детектор отремонтирован готов к установке в детектор, поставлены дополнительные экраны на электронику внутри детектора, ведется работа по перекоммутации сигнальных каналов в оцифровывающих модулях.
- Дрейфовая камера отремонтирована готова к установке в детектор, изготовлена электроника позволяющая восстанавливать продольную координату во внутреннем слое камеры методом деления заряда. Проведено испытание ДК с космическими частицами.
- Система аэрогелевых черенковских счетчиков АШИФ отремонтирована и доработана. В настоящее время система готова к установке в детектор в полном объеме (160 счетчиков).
- Время-пролетные счетчики отремонтированы, готовы к установке в детектор, дополнительные магнитные экраны для баррельных счетчиков разработаны и начато их изготовление в экспериментальном производстве института.
- Электроника баррельного жидкокриптонового калориметра отремонтирована и проверена на стендах, ведется монтаж новой системы очистки криптона. До начала набора статистики с детектором планируется очистка всего объема газа (22 тонны).
- Механические переделки торцевого калориметра на основе кристаллов CsI активированного талием выполнены в полном объеме (8 модулей калориметра объединены в 4, в результате чего положение каждого кристалла будет известно с точностью лучше 1 мм), электроника отремонтирована и заменены фототриоды в модулях одного торца, для модулей второго торца

фототриоды производятся на заводе «Экран», тестируются и принимаются в ИЯФ СО РАН.

- Во всех мюонных камерах (88 блоков) отремонтирована и заменена электроника, половина блоков установлена в детектор и проверена их работоспособность.
- Доработаны все элементы ярма детектора.
- Магнитная система детектора в «старой» конфигурации работает и готова к использованию. Разработан и произведен новый источник питания основного соленоида. Ведутся стендовые испытания, настройка систем управления и интерфейса. Закончены проектные работы по переделке криопровода от сверхпроводящего трансформатора до основного соленоида и криостата для сверхпроводящих ключей и трансформатора, начато изготовление деталей в экспериментальном производстве института.
- Создана система калибровки системы регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) на основе прецизионного электро-магнитного калориметра на основе монокристалла ВГО и двух лазеров с длиной волны 532 нм и 1064 нм. Система позволяет проводить калибровку зависимости координаты трека от энергии рассеянного электрона и измерять энергетическое разрешение. Ведутся работы по автоматизации процедуры калибровки СРРЭ на электронном плече.

Развитие методики ФАРИЧ.

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 аэрогелевой группой детектора КЕДР совместно с группой из ИК СО РАН с 2004 года.

В 2009-2010 годах в ИЯФ СО РАН была создана установка «Выведенный пучок электронов на ускорителе ВЭПП-4М», позволяющая проводить изучение прототипов новых детекторов элементарных частиц с пучками электронов и гамма-квантов в области энергий от 100 до 4000 МэВ. Более подробно установка описана в институтском отчете за 2011 год.

В 2012 году в рамках развития методики ФАРИЧ были проведены следующие работы:

- Проведена модернизация системы координатных камер выведенного пучка. Однокоординатные дрейфовые камеры с координатным

разрешением 500 мкм были заменены на двухкоординатные детекторы на основе газовых электронных умножителей. Детекторы установлены на пучок, проведен эксперимент на электронах с энергией 1 ГэВ. Получено проектное координатное разрешение 80 мкм.

- Создана система оперативного определения координаты пучка гамма-квантов на входе сепарирующего магнита.
- Проведено моделирование и получена оптимальная толщина конвертора равная 35% радиационной длины.
- Исследована эффективность регистрации фотонов кремниевыми детекторами производства фирмы ЦПТА (Москва) (СРТА 151-30, СРТА 149-35). Было показано, что при длинах волн от 400 до 650 нм, эффективность регистрации варьируется от 5 до 20%, что примерно в 2 раза ниже чем данные в каталоге производителя. Данные исследования планируется продолжить.
- Прототип №2 подготовлен к эксперименту на выведенном пучке. Основной частью прототипа является фотонный детектор, состоящий из 60-ти кремниевых фотоумножителей типа СРТА 151-30 с диаметром чувствительной области 1.28 мм. В прототипе №2 используются новые платы усилителей-дискриминаторов на основе чипов NINO. Работоспособность электроники была проверена с фотонными детекторами СРТА 151-30 при засветке от пикосекундного лазера. Измерено временное разрешение при регистрации одиночных фотонов, которое составляет 300 пс. В экспериментах с прототипом №2 совместно с модернизированной координатной системой планируется детально изучить свойства «фокусирующих» аэрогелей, которые разрабатываются в ИК СО РАН. По сравнению с прототипом №1, точность измерения угла черенковского излучения улучшена примерно в 2 раза.

- В июне 2012 года на пучке пионов и протонов в ЦЕРН нашей группой совместно с физиками из ИЯИ РАН (г. Москва) и инженерами фирмы Philips Digital Photon Counting (Германия) впервые было зарегистрировано полное кольцо черенковского излучения из «фокусирующего» аэрогелевого радиатора с помощью цифровых кремниевых фотоумножителей. Фотография прототипа ФАРИЧ на основе матрицы цифровых кремниевых фотоумножителей размером 20x20 см² представлена на (1.3).2.

Число пикселей матрицы равно 2304. Для обеспечения работы прототипа в однофотонном ре-



Рис. (1.3).2: Прототип ФАРИЧ на пучке в ЦЕРН.

жиме матрица охлаждалась до -40°C . На пучке с импульсом 2-6 ГэВ/с был испытан четырехслойный «фокусирующий» аэрогелевый радиатор. Распределение по радиусу черенковского кольца для пионов и протонов представлено на (1.3).3. Среднее число зарегистри-

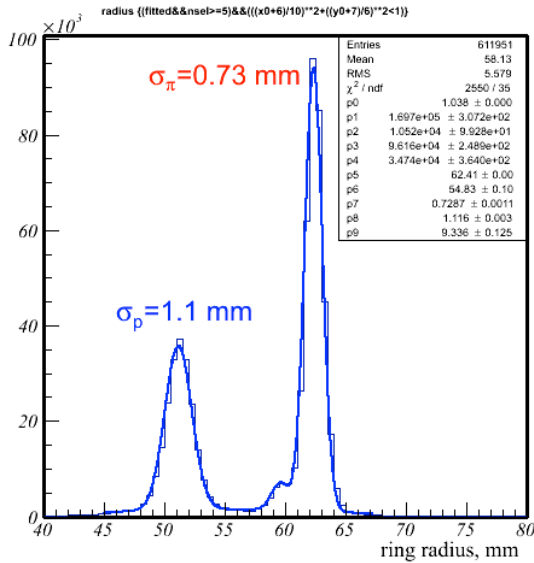


Рис. (1.3).3: Распределение по измеренному радиусу черенковского кольца для пионов и протонов.

рованных фотонов составило 14 для пионов с импульсом 6 ГэВ/с. Разрешение по радиусу для пионов составляет 0.7 мм, для протонов 1.1 мм. Данные результаты подтверждают возможность разделения пионов и каонов на уровне достоверности 3σ до импульса 7 ГэВ/с и разделение мюонов и пионов до импульса 1.3 ГэВ/с. Достигнут рекордно высокий уровень разделения мюонов и пионов. Такое качество идентификации необходимо для создания системы идентификации детектора для Супер Чарм-Тау фабрики.

1.4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ДЕТЕКТОРА КЕДР НА КОЛЛАЙДЕРЕ ВЭПП-4М

В течение 2012 года активно велась обработка статистики набранной на коллайдере ВЭПП-4М в эксперименте КЕДР. Основные результаты приведены ниже:

- Опубликованы результаты экспериментов по измерению основных параметров $\psi(2S)$ - и $\psi(3770)$ -мезонов.
- Ведётся работа по измерению масс J/ψ - и $\psi(2S)$ -мезонов с использованием статистики набранной за всё время проведения эксперимента.
- Проведена проверка лептонной универсальности в распадах J/ψ - мезона.

Ниже дано более подробное описание этих анализов.

Измерение параметров $\psi(2S)$ - и $\psi(3770)$ -мезонов.

В 2012 году опубликованы работы [1, 2], посвящённые измерению параметров $\psi(2S)$ - и $\psi(3770)$ -мезонов, основные результаты эксперимента:

- Измерена масса $\psi(2S)$ - мезона с точностью около 15 кэВ, что в полтора раза превышает точность лучшего из предыдущих измерений.
- Произведение электронной ширины на вероятность распада в адроны для $\psi(2S)$ -мезона измерено с точностью 2%, что позволяет получить в два раза более точное значение электронной ширины.
- Измерение основных параметров $\psi(3770)$ -мезона с учётом интерференции резонансного и нерезонансного рождения $D\bar{D}$ -пар. Измерение массы $\psi(3770)$ выполнено с точностью, не уступающей лучшему на данный момент результату эксперимента BaBar. Измерение электронной ширины с учётом интерференционных эффектов произведено впервые.

Прецизионное измерение масс J/ψ - и $\psi(2S)$ -мезонов.

Использование метода резонансной деполаризации [14, 15, 16] в эксперименте КЕДР позволило достигнуть принципиально нового уровня точности измерения масс узких резонансов [17, 1]. Тем не менее, решение вопросов, связанных с дальнейшим повышением точности до уровня нескольких

кэВ, остаётся актуальной задачей для коллаборации КЕДР.

За время эксперимента с детектором КЕДР было выполнено 6 сканирований J/ψ - резонанса и 7 сканирований $\psi(2S)$ резонанса, набранная статистика составила 0.75 пкбн^{-1} и 1 пкбн^{-1} соответственно.

Получены предварительные результаты по новому прецизионному измерению масс J/ψ - и $\psi(2S)$ -резонансов [3]:

$$\begin{aligned} M_{J/\psi} &= 3096,900 \pm 0,002 \pm 0,006 \text{ МэВ}, \\ M_{\psi(2S)} &= 3686,100 \pm 0,003 \pm 0,009 \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

Результаты КЕДРа по измерению масс J/ψ - и $\psi(2S)$ - мезонов остаются непревзойдёнными по точности.

Проверка лептонной универсальности в распадах J/ψ - мезона.

Одной из актуальных задач современной физики высоких энергии является поиск отклонений от Стандартной Модели, повышение уровня точности экспериментов по проверке законов сохранения одно из главных направлений проводимых исследований.

Коллаборацией КЕДР в 2012 году выполнен эксперимент по проверке лептонной универсальности в распадах J/ψ - мезона. Измерено отношение парциальных ширин распадов $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ и $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$, был получен следующий предварительный результат [5]:

$$\Gamma_{e^+e^-}(J/\psi)/\Gamma_{\mu^+\mu^-}(J/\psi) = 0.9964 \pm 0.0048 \pm 0.0060$$

Точность предварительного результата эксперимента КЕДРа вдвое превосходит наиболее точное в настоящий момент измерение коллаборации CLEO.

Заключение

Работы выполнены при частичной поддержке грантов РФФИ № 10-02-00871-а, 10-02-00904-а, 11-02-00558-а, 11-02-01064-а, 11-02-01422-а, 12-02-00023-а, 12-02-01076-а, 12-02-31523 мол_а, Гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ НШ-5320.2012.2, Интеграционного проекта СО РАН №103 (2012–2014 гг.), а также при финансовой поддержке Минобрнауки России.

1.5. ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ФВЭ

В 2012 году в рамках модернизации электроники детекторов были выполнены следующие работы:

1.5.1 КЕДР.

На мюонной системе произведена полная замена дискриминаторов, все блоки протестированы. Таким образом, завершена модернизация мюонной системы детектора.

Разработан и подключен модуль для калориметра на кристалле BGO.

Продолжен ремонт камерной электроники, криптонового и CsI-калориметров детектора калориметра с частичной заменой усилителей.

1.5.2 СНД.

Завершена модернизация электроники для первого слоя калориметра.

Изготовлена новая электроника (предусилители и кросс-платы (1120 каналов)) для второго и третьего слоёв калориметра, проводится тестирование.

Изготовлена новая версия модуля Ф12.

1.6. РЕНТГЕНОВСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ.

В рамках работ по созданию многострочного координатного детектора, в котором в качестве регистрирующих элементов планируется использовать кремниевые микрополосковые структуры, составлено техническое задание на их изготовление.

Были проведены переговоры с возможными изготовителями. В настоящий момент согласованы все технические вопросы с фирмой HAMAMATSU, договор планируется подписать в феврале 2013 года. В рамках договора будут изготовлены координатные структуры трёх модификаций для проведения тестов и выбора оптимальных параметров.

В 2012 году в ЭП-2 Института были изготовлены пять корпусов детекторов ОД-3М и соответствующее количество керамических электродов для пропорциональных проволочных камер, составляющих основу координатной структуры детекторов. Детекторы будут использованы в составе дифрактометров, изготовление которых планируется в рамках программы приборной комиссии СО РАН.

В 2012 году практически завершена разработка топологии материнской платы детектора ОД-4, предназначенного для экспериментов по широкоугловому 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.

1.7. ПРОЧИЕ РАБОТЫ

В рамках международных проектов сотрудники Института продолжали активно участвовать в работах, связанных с разработкой новой системы сбора данных детектора BELLE-II (КЕК, Япония).

В 2012 году:

Создан стенд для проверки счетчиков цилиндрического калориметра, на котором были проверены все счетчики и подключенные к ним кабели.

Разработана новая версия модуля коллектора с логикой, обеспечивающей высокоскоростной обмен информацией.

Разработаны механические и электрические спецификации для нового VME крейта.

1.8. МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ГАЗОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Развитие детекторов на основе Газовых Электронных Умножителей (ГЭУ или GEM) было продолжено в 2012 году силами сотрудников Института. Работа проводилась в нескольких направлениях:

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

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.

На Рис. 1.8.1 показана принципиальная схема двухфазного КЛД в Ar для поиска темной материи и когерентного рассеяния нейтрино.

Конечной целью данного проекта является разработка новых методов регистрации темной материи с использованием двухфазных КЛД предельной чувствительности, в Ar и Xe, на основе ГЭУ. В основе метода лежит усиление предельно слабых сигналов от ядер отдачи, образованных в криогенной жидкости от рассеяния частиц темной материи, в газовой фазе с помощью умножителя электронов на основе каскадных ГЭУ. Уникальность разрабатываемого нами двухфазного КЛД состоит в том, что он должен быть способен работать в режиме счёта одиночных электронов первичной ионизации, что соответствует очень маленькой энергии выделенной в жидкости (менее 1 кэВ), причём с достаточно высоким пространственным разрешением (менее 1 см) и крайне низким уровнем шума. Предельная чувствительность детектора достигается за счёт оригинальной идеи по использованию комбинированного умножителя, состоящего из ТГЭУ и гейгеровских лавинных фотодиодов (ГЛФД или GAPD), осуществляющих оптическое считывание с ТГЭУ в ближней инфракрасной (ИК) области спектра. Такой детектор будет существенно (в несколько раз) превосходить имеющиеся детекторы темной материи по чувствительности за счёт способности работать в режиме счёта одиночных электронов при улучшенном (менее 1 см) пространственном разрешении.

Для выполнения проекта создаются две уникальные установки, а именно двухфазный КЛД меньшего и большего размера с объёмом криогенной камеры, соответственно, 9 л (установка № 1) и 160 л (установка № 2). На первой установке будут проводиться измерения для получения запланированных результатов по двухфазному КЛД с комбинированным умножителем

ГЭУ/ГЛФД-матрица и по отклику двухфазного КЛД на рассеяние нейтронов. При разработке второй установки будут обрабатываться её основные элементы с целью создания обоснованной эскизной конструкторской документации на практический двухфазный КЛД.

Кроме того, планируется разработка и создание метрологических нейтронных пучков для калибровки детекторов темной материи. В перспективе результатом этих работ может быть создание на базе ИЯФ международного Нейтронного метрологического центра для калибровки детекторов темной материи и нейтрино низких энергий.

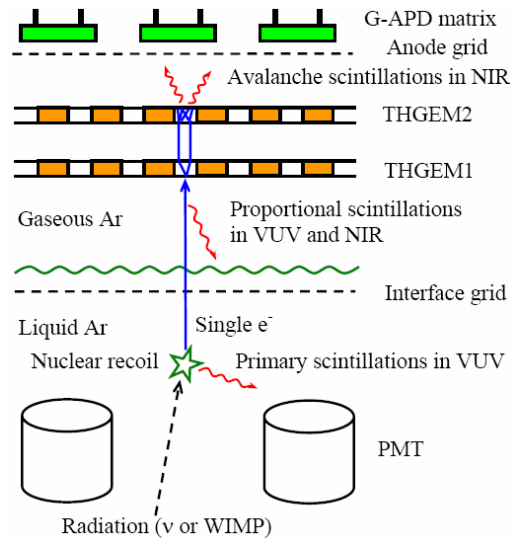


Рис. 1.8.1. Принципиальная схема экспериментального образца двухфазного КЛД в Ar с комбинированным умножителем ТГЭУ/ГЛФД-матрица.

Исследование двухфазного КЛД в Ar с практическим активным объемом с двухкаскадным ТГЭУ и трехкаскадным гибридным умножителем ТГЭУ/ГЭУ.

Были проведены измерения в двухфазном КЛД в Ar со сборкой двухкаскадного толстого ГЭУ с практическим активным объемом: с активной площадью $10 \times 10 \text{ см}^2$ и толщиной жидкого слоя 1 и 5 см. На Рис. 1.8.2 показаны усилительные характеристики такого детектора для однокаскадного и двухкаскадного толстого ГЭУ в сравнении с детектором с меньшей активной площадью ($2,5 \times 2,5 \text{ см}^2$). Видно, что характеристики похожи как по рабочим напряжениям, так и по максимальному усилению, которое достигало 1000. Еще большие усиления были получены с трехкаскадным гибридным умножителем THGEM/GEM/PCBV, вплоть до 5000: см. Рис. 1.8.3. Эти результаты подтверждает факт успешной работы толстых ГЭУ с практической активной площадью, а именно $10 \times 10 \text{ см}^2$, в условиях практического двухфазного КЛД в Ar, с относительно высокими усилениями.

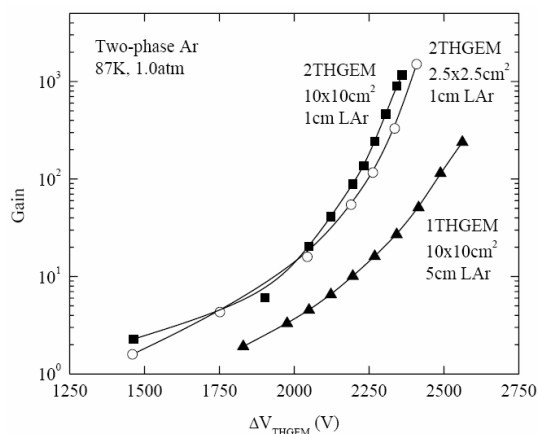


Рис. 1.8.2. Усилительные характеристики двух- и однокаскадного толстого ГЭУ с активной областью $10 \times 10 \text{ cm}^2$, полученные в двухфазном КЛД в Ar с толщиной жидкости 5 и 1 см.

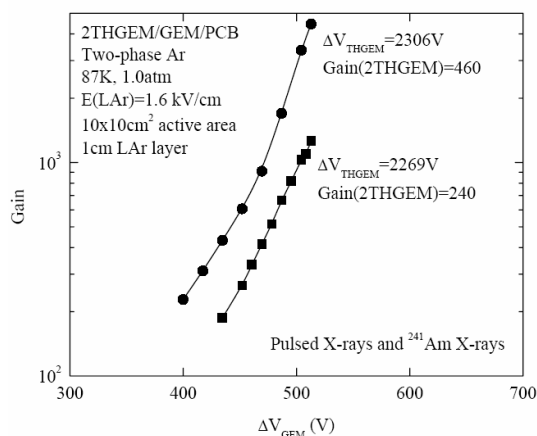


Рис. 1.8.3. Усилительные характеристики трехкаскадного гибридного умножителя 2THGEM/GEM/PCB с активной областью $10 \times 10 \text{ cm}^2$, полученные в двухфазном КЛД в Ar.

Исследование двухфазного КЛД в Ar с комбинированным умножителем ТГЭУ/ГЛФД-матрица.

В рамках данного проекта в 2012 году были успешно проведены исследования двухфазного КЛД с криогенной камерой объёмом 9 литров с комбинированным умножителем ТГЭУ/ГЛФД-матрица. Его принципиальная схема показана на Рис. 1.8.1, а на Рис. 1.8.4 показана сборка ГЛФД на стадии монтажа двухфазного КЛД. Для оптического считывания сигнала с двухкаскадного ТГЭУ с координатным разрешением использовалось матрица из 9 ГЛФД, расположенных в виде квадратной решётки с шагом 1 см на расстоянии 7 мм от последнего ТГЭУ. Основу многоканальной системы сбора данных составлял электронный блок FADC CAEN 1720 (8 каналов) в стандарте VME; для чтения и записи данных было создано программное обеспечение в рамках пакета Labview.

На Рис. 1.8.5 показана фотография первой очереди уникальной экспериментальной установки № 1, т.е. меньшего размера, включая экспериментальный образец двухфазного КЛД с криогенной камерой объёмом 9 л, часть криогенной и вакуумной систем, электронику систем высокого напряжения и сбора данных.

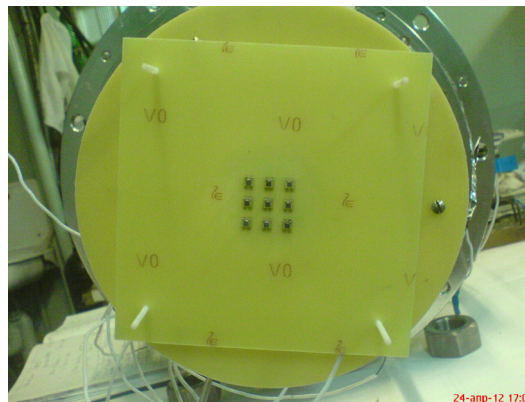


Рис. 1.8.4. Фотография сборки ГЛФД матрицы на стадии монтажа двухфазного КЛД.

В соответствие с планом работ на 2012 год, были измерены амплитудные и координатные характеристики комбинированного умножителя ТГЭУ/ГЛФД-матрица в двухфазном КЛД в Ar. Для этого было проведено более 10 криогенных сеансов в период с июня по декабрь 2012 года. Детектор облучался мягкими рентгеновскими фотонами со средней энергией 15-40 кэВ от импульсной рентгеновской трубки. Для измерения координатных характеристик детектора, в частности, его пространственного разрешения, облучение производилось через стальной цилиндрический коллиматор диаметром 2 мм.

На рисунке 1.8.6 показан типичный оптический сигнал с ГЛФД в двухфазном КЛД в Ar с комбинированным умножителем ТГЭУ/ГЛФД-матрица. Сравнительно большая длительность сигнала (более 15 мкс) обусловлена физикой эмиссии электронов через границу раздела фаз в двухфазном Ar, а именно наличием медленной компоненты эмиссии.

В ходе измерений обнаружались особенности работы ГЛФД производства ЦПТА (Москва) при криогенных температурах: оказалось, что они не выдерживают загрузки детектора рентгеновскими фотонами, превышающие 100 Гц. В настоящее время проводится изучение этого эффекта; предварительно, он объясняется большой постоянной времени зарядки пикселя ГЛФД после «гейгеровского» пробоя вследствие значительного увеличения гасящего сопротивления пикселя при криогенных температурах.

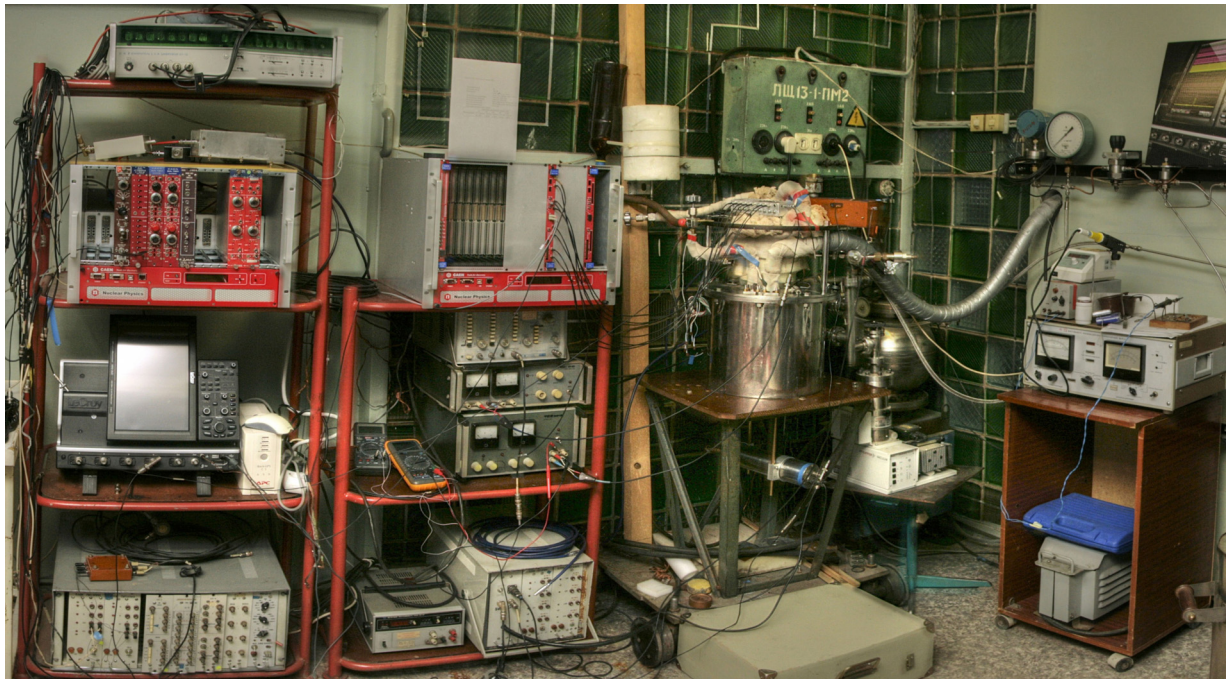


Рис. 1.8.5. Фотография первой очереди экспериментальной установки № 1. Показан экспериментальный образец двухфазного КЛД с криогенной камерой объёмом 9 л, часть криогенной и вакуумной систем, электроника систем высокого напряжения и сбора данных.

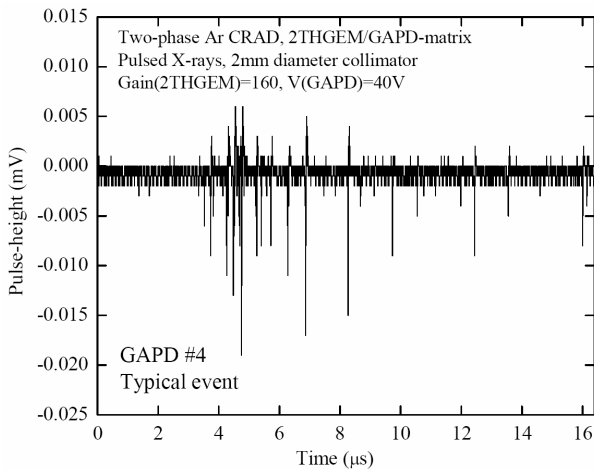


Рис. 1.8.6. Типичный оптический сигнал с ГЛФД в двухфазном КЛД в Ar с комбинированным умножителем ТГЭУ/ГЛФД-матрица, при усилении ТГЭУ $G=160$, при облучении рентгеновскими фотонами с энергией 20 кэВ через коллиматор диаметром 2 мм.

На Рис. 1.8.7 показано амплитудное распределение суммарного оптического сигнала матрицы со всех активных ГЛФД (7 штук из 9) в двухфазном КЛД, из которых можно оценить световыход комбинированного умножителя ТГЭУ/ГЛФД, а значит и пороговую чувствительность двухфазного КЛД. Видно, что даже при таком умеренном усилении ТГЭУ ($G=160$) сигнал от рентгеновского фотона с энергией 20 кэВ даёт значительный оптический сигнал на ГЛФД матрице – порядка 100 фотоэлектронов.

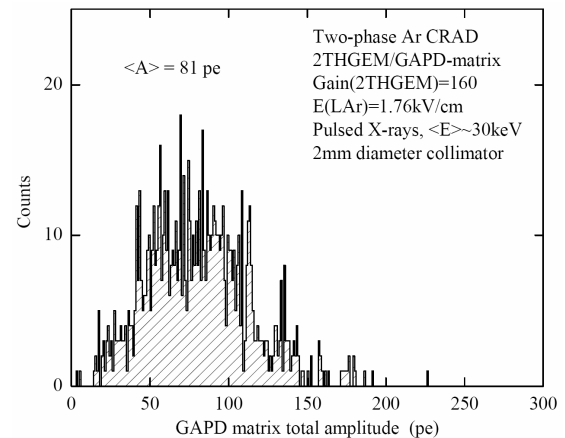


Рис. 1.8.7. Амплитудное распределение суммарного оптического сигнала со всех активных ГЛФД матрицы в двухфазном КЛД в Ar, при усилении ТГЭУ $G=160$, при облучении рентгеновскими фотонами с энергией 20 кэВ через коллиматор диаметром 2 мм.

Это означает, что даже для довольно низких выделенных энергий в жидком Ar, порядка 1 кэВ, двухфазный КЛД может иметь удовлетворительный оптический сигнал – с амплитудой в 10 фотоэлектронов при вполне рабочем усилении ТГЭУ $G=500$. Этого достаточно для получения рекордного (суб-см) пространственного разрешения с помощью ГЛФД матрицы даже при таких низких энергиях. Следует заметить, что энергия 1 кэВ в два раза ниже порога регистрации детектора тёмной материи DAMA/LIBRA – самого чувствительного детектора на настоящее время.

Рисунок 1.8.8 иллюстрирует пространственную разрешающую способность двухфазного КЛД в Аг с комбинированным умножителем ТГЭУ/ГЛФД-матрица. На двумерном распределении реконструированных событий отчётливо видно «изображение» отверстия коллиматора. По этому изображению можно оценить пространственное разрешение детектора, квадратично вычитая вклад размера отверстия (2 мм). Для координаты Y такая оценка дает: ширина на полувысоте распределения FWHM=3,2 мм. Значит, вклад матрицы ГЛФД в точность измерения составляет 2,5 мм (FWHM) или 1,1 мм (стандартное отклонение).

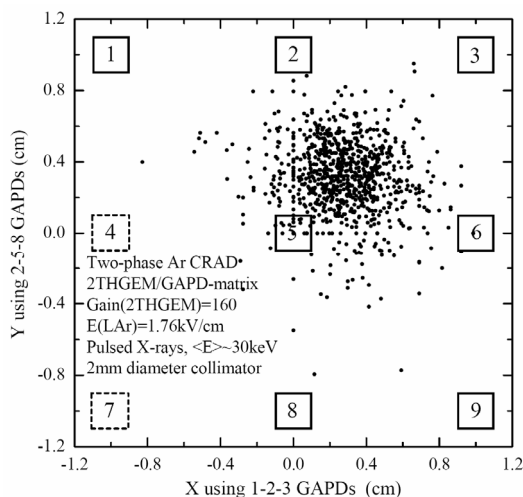


Рис. 1.8.8. Двумерное распределение событий в двухфазном КЛД в Аг, реконструированных по амплитудам сигналов с ГЛФД матрицы (ГЛФД # 1-2-3 для X и # 2-5-8 для Y координаты) при усилении ТГЭУ G=160, при облучении рентгеновскими фотонами с энергией 20 кэВ через коллиматор диаметром 2 мм.

Таким образом, с помощью оригинальной системы считывания сигнала, а именно с помощью комбинированного умножителя ТГЭУ/ГЛФД-матрица, причём с оптическим считыванием в ближней ИК области спектра, нами было получено рекордное пространственное разрешение для двухфазных детекторов тёмной материи. Считая, что разрешение падает с числом фотоэлектронов, как $1/\sqrt{N_{pe}}$, можно сделать оценку для предельного по чувствительности случая, рассмотренного выше, т.е. для выделения энергии 1 кэВ и усиления ТГЭУ G=500. В этом случае координатное разрешение составит 8 мм (FWHM) или 3 мм (сигма), что всё ещё находится на суб-см уровне, то есть вне конкуренции для двухфазных детекторов.

1.8.2. 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 взаимодействия 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 была оснащена детектором на основе тройного ГЭУ с двух-координатным съёмом. Детекторы позволяют измерять координату в плоскости орбиты с разрешением ~0,1мм. В направлении, перпендикулярном плоскости орбиты, пространственное разрешение составит ~0,25 мм в области ±1см 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 мм до 250*100 мм в зависимости от типа станции.

В течение 2012 года детектор КЕДР был остановлен для ремонта и детекторы на основе ГЭУ были сняты с системы регистрации рассеянных электронов для систематического изучения их параметров на выведенном пучке ВЭПП-4М. Для этих экспериментов была собрана система из 4-х детекторов, схематично показанная на Рис.1.8.9.

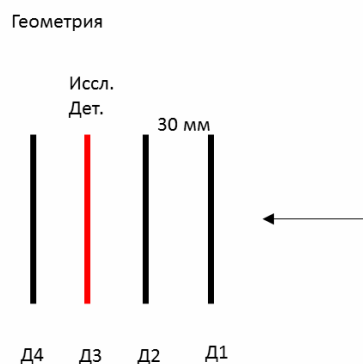


Рис. 1.8.9. Система из 4-х детекторов на основе ГЭУ, установленная на выведенном пучке ВЭПП-4М.

Четыре одинаковых детектора были установлены на расстоянии 30 мм друг от друга. При этом 3 детектора использовались для проведения треков, и детектор, обозначенный D3 был исследуемым. Была набрано около 200000 событий на пучке из электронов с энергией 1 ГэВ. Основные параметры, исследуемые на выведенном пучке, - эффективность и пространствен-

ное разрешение в зависимости от коэффициента газового усиления.

На рисунке 1.8.10 показана зависимость эффективности детектора от газового усиления. Видно, что эффективность выходит на плато при усилении около 20000, и величина эффективности на плато близка к 98%.

Исследование причин неэффективности в ~2% показало, что основной ее причиной являются зазоры между сегментами обкладок ГЭУ, где теряется часть событий. Это проиллюстрировано на рисунке 1.8.11, где показаны координаты треков, в детекторе Д2, которые не были зарегистрированы в исследуемом детекторе Д3. Видно, что такие треки сосредоточены вдоль вертикальных линий, расположенных с шагом 10 каналов (5 мм). Причем есть два сорта таких линий, с большим и меньшим числом потерянных событий. Действительно, зазоры между сегментами обкладок ГЭУ расположены с шагом 10 мм на верхних и на нижних обкладках, причем зазоры на нижних обкладках сдвинуты на 5 мм относительно верхних. Это приводит к тому, что эффективный шаг областей неэффективности в детекторе должен быть 5 мм, что видно на Рис. 1.8.11. Кроме того, поскольку ионизация теряется по-разному на верхних и на нижних зазорах, следует ожидать разную величину неэффективности, что также видно на Рис. 1.8.11. Величина эффективности в промежутке между зазорами составила 99,1% при усилении ~20000.

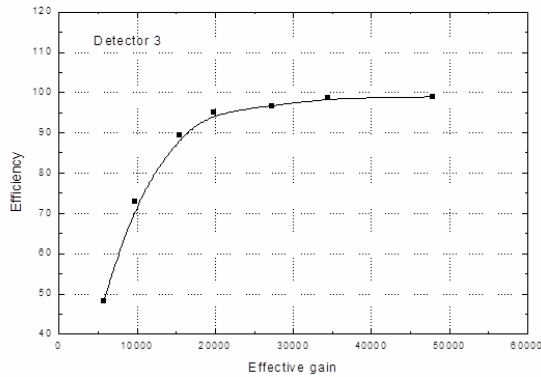


Рис. 2.1.10. Зависимость эффективности детектора на основе ГЭУ для СРРЭ от коэффициента газового усиления.

Измеренное пространственное разрешение составило ~57 мкм. Результат показан на Рис. 1.8.12, где приведено распределение разностей измеренных координат треков и вычисленных по трем детекторам. Стандартное отклонение такого распределения, 70 мкм, нужно умножить на ~1,22, чтобы получить разрешение одного детектора.

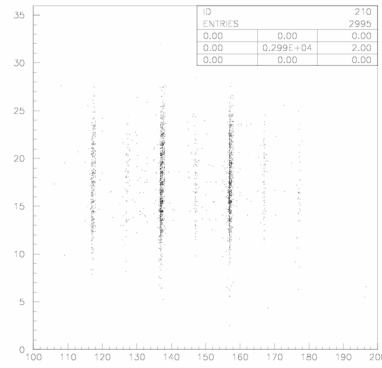


Рис. 1.8.11. Двумерное распределение координат треков в детекторе Д2, которые не зарегистрированы в детекторе Д3.

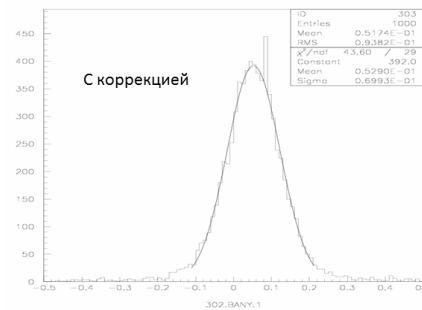


Рис. 1.8.12. Распределение разностей измеренной координаты трека и вычисленной по трем детекторами. Стандартное отклонение этого распределения, 70 мкм, нужно умножить на ~1,22 (квадратный корень из 3/2), поскольку в качестве трековых использовались идентичные исследуемому детекторы.

1.8.3. 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 2012 году группа продолжила участие в деятельности этой коллаборации.

В 2012 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: федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» 2009–2013 гг. (контракты Министерства образования и науки П682 и П1980); грантом правительства РФ 11.G34.31.0047.

1.9. ЭКСПЕРИМЕНТ BELLE

1.9.1. Основные результаты

Основным направлением рабочей группы института 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 очень высокой светимостью (т.н. В-фабрике).

Сотрудники института 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.

Сотрудники института принимают активное участие как в работах по модернизации детектора, так и в обработке набранных экспериментальных данных.

Ниже приведены основные результаты работы за 2012 год.

- Используя модельно-независимый метод, измерен параметр треугольника унитарности ϕ_3 .
- Начат поиск распадов экзотического состояния X в различные моды с участием η_c : $\eta_c \pi^+ \pi^-$, $\eta_c \omega$, $\eta_c \eta$ и $\eta_c \pi^0$.
- Определен спин и P-четность ранее обнаруженных экзотических состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$.
- Измерены относительные вероятности распадов $Y(5S) \rightarrow Y(1S)\eta$ и $Y(5S) \rightarrow Y(2S)\eta$, а также поставлен верхний предел на относительную вероятность распада $Y(5S) \rightarrow Y(1S)\eta'$.
- Получено надежное указание на существование нейтрального экзотического состояния $Z^0(10610)$.
- Проведен Далиц-анализ распада $B \rightarrow D^* \omega$. Выполнена процедура сигнальной реконструкции, измерена полная ширина распада, получены оценки для параметров модели распада.

- Завершена работа по поиску нарушающих лептонный аромат распадов $\tau^- \rightarrow l^- hh'$, где $l = e, \mu$ и $h = \pi, K$.
- Близка к завершению работа по измерению относительных вероятностей и спектров масс в распадах τ^- , включающих K_S^0 мезон.
- Продолжается работа по измерению вероятности распада $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$, используя модельно-независимую методику.
- Продолжается работа по измерению параметров смешивания нейтральных D-мезонов.
- Закончена разработка и сделан заказ на 100 модулей формирователя-оцифровщика в стандарте VME для торцевой части калориметра детектора Belle-II.
- Разработано программное обеспечение, позволяющее проводить различные тесты и проверять формирователи-оцифровщики.
- Создан стенд для проверки счетчиков цилиндрического калориметра, на котором были проверены все счетчики и подключенные к ним кабели.
- Разработана новая версия модуля коллектора с логикой, позволяющей работать с высокоскоростным обменом информацией.
- Разработаны механические и электрические спецификации для нового VME крейта.
- Проведены измерения радиационной стойкости счетчиков на основе кристаллов CsI, произведенных в Институте сцинтилляционных материалов в Харькове.

1.9.2. Анализ данных

Модельно-независимое измерение угла ϕ_3 треугольника унитарности

В поисках процессов, выходящих за рамки Стандартной Модели электрослабых взаимодействий, проходящих при низких энергиях, важную роль играют измерения параметров т. н. треугольника унитарности в распадах В-мезонов. Такие исследования являются важнейшим пунктом физической программы В-фабрик. Исследования различных распадов В-мезонов позволяют независимо измерить параметры треугольника, при этом эффекты Новой Физики будут проявляться в рассогласовании таких измерений (например, сумма углов треугольника может оказаться не равна 180°). Одним из наиболее слабо измеренных параметров является угол ϕ_3 , который проявляется в распадах В-мезона на нейтральный D-мезон и каон. Теоретическая неопределенность в измерении этого параметра исключительно мала, и его нынешняя точность полностью определяется количеством доступных в эксперименте распадов $B \rightarrow D^0 K$.

Наиболее чувствительный метод измерения ϕ_3 использует распад $B^\pm \rightarrow D^0 K^\pm$, где D^0 реконструируется в трехчастичном распаде $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$. При этом параметры амплитуды распада D^0 различаются для распа-

дов B^+ и B^- (то есть наблюдается CP-нарушение). Подгонка распределения событий по фазовому объему распада D^0 из B^+ и B^- позволяет измерить параметр ϕ_3 . При этом в традиционном анализе используется модельное описание амплитуды распада D^0 , что влечет дополнительную ошибку измерения, которая уже становится сравнимой со статистической точностью. При участии группы сотрудников института был разработан модифицированный метод измерения ϕ_3 , в котором фазовый объем распада разбивается на области (бины), а недостающая информация об амплитуде получается из эксперимента при исследовании квантовых корреляций D-мезонов в процессе $e^+e^- \rightarrow \psi(3770) \rightarrow DD$. Исследование корреляций DD было выполнено в 2010 году в эксперименте CLEO, а в текущем году группой ИЯФ был выполнен анализ и опубликовано первое измерение угла ϕ_3 при помощи модельно-независимого метода в журнале Physical Review D. В анализе наблюдалось CP-нарушение со статистической значимостью более 99% (см. Рис.1.9.1). Полученное значение $\phi_3 = [77 \pm 15(\text{стат}) \pm 4(\text{сист}) \pm 4(\text{CLEO})]^\circ$ по точности лишь незначительно уступает модельному методу, однако вместо сложной в интерпретации модельной ошибки (достигающей, по разным оценкам, 9°) имеет чисто статистическую дополнительную неопределенность 4° , которую можно значительно улучшить в будущем.

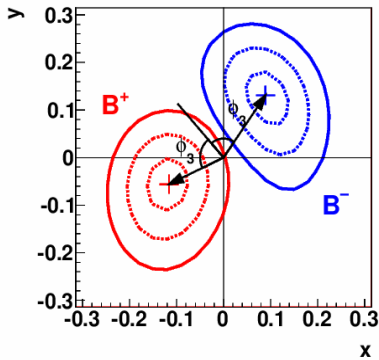


Рис. 1.9.1. Результаты измерения параметров (x, y) амплитуды D и угла ϕ_3 из распада $B \rightarrow DK$.

Поиск распадов X в моды с участием η_c мезона

Экзотическое состояние $X(3872)$ было впервые обнаружено коллаборацией Belle в 2002 году в эксклюзивных распадах $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- J/\psi$.

Масса этого состояния близка к порогу $M(D^0) + M(\bar{D}^{*0})$, что породило гипотезу о том, что $X(3872)$ может быть молекулой $D^0 \bar{D}^{*0}$. Таким образом, было сделано предположение о том, что могут существовать и другие похожие частицы, также являющиеся связанными состояниями $D^{(*)}$ мезонов. В случае, если эти состояния существуют, они обладают отличными от $X(3872)$ квантовыми числами и могут быть обнаружены в распадах с участием η_c мезона. Группой сотрудников института был проведен поиск распадов похожего на X экзотического состояния в различные

моды с участием η_c : $\eta_c \pi^+ \pi^-$, $\eta_c \omega$, $\eta_c \eta$ и $\eta_c \pi^0$. Был разработан алгоритм выделения событий распада $B^\pm \rightarrow K^\pm X$ с последующим распадом X в вышеперечисленные моды. Используя события сигнального моделирования, были выбраны оптимальные условия отбора и определены эффективности регистрации для каждого из четырех распадов. Для проверки правильности алгоритма был изучен тестовый распад $B^\pm \rightarrow K^\pm \psi(2S) \rightarrow K^\pm (J/\psi \pi^+ \pi^-)$. На данный момент ни в одном из изученных каналов распада X не был обнаружен сигнал (Рис. 1.9.2), поэтому были поставлены верхние пределы на соответствующие произведения бранчингов рождения и распада X. Работа близка к завершению, и после процедуры обсуждения внутри коллаборации будет опубликована.

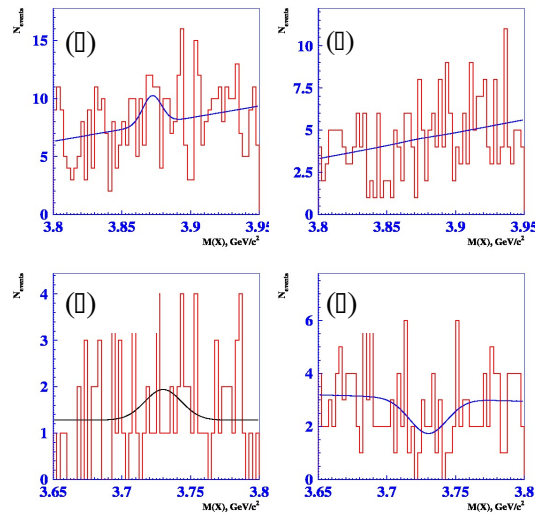


Рис. 1.9.2. Распределения инвариантных масс $\eta_c \pi^+ \pi^-$ (а), $\eta_c \omega$ (б), $\eta_c \eta$ (в) и $\eta_c \pi^0$ (г) в соответствующих распадах $B^\pm \rightarrow K^\pm X$.

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

В 2010-2011 годах группой ИЯФ, входящей в коллаборацию Belle, был проведен анализ данных по e^+e^- аннигиляции в конечные состояния вида $Y(nS)\pi^+\pi^-$, где $n = 1, 2, 3$. Важнейшим результатом работы стало первое наблюдение заряженных боттомоний-подобных состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$. Однако при анализе делалось упрощение, состоящее в предположении о том, что доминирующими в наблюдаемых переходах $Y(5S) \rightarrow Y(nS)\pi^+\pi^-$, являются вклады, в которых пионы находятся в S-волне. Дальнейшее развитие техники амплитудного анализа сотрудниками института позволило отказаться от упрощающих предположений и провести полный амплитудный анализ шестимерного фазового пространства.

Для анализа используются полностью восстановленные события $Y(5S) \rightarrow Y(nS)\pi^+\pi^-$, где $Y(nS)$ восстанавливается в канале распада $Y(nS) \rightarrow \mu^+\mu^-$. Для подавления фона требуется надежная идентификация мюонов системой KLM детектора Belle. Двумерные рас-

пределения $M^2(Y(nS)\pi)_{\max}$ от $M^2(\pi^+\pi^-)$ для фоновых и сигнальных событий в распаде $Y(5S) \rightarrow Y(nS)\pi^+\pi^-$ показаны на рисунке 1.9.3.

Существенным источником фона для изучаемых процессов являются события $Y(5S) \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma$, в которых фотон в дальнейшем конвертируется 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 событий фона по оставшейся части фазового пространства хорошо аппроксимируется плавной полиномиальной зависимостью. Одномерные распределения по двухчастичным инвариантным массам показаны на рисунке 1.9.4.

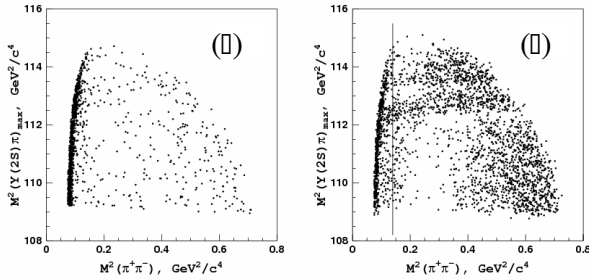


Рис. 1.9.3. Далиц распределения для фоновых событий (а) и событий из сигнальной области (б) для распада $Y(5S) \rightarrow Y(2S)\pi^+\pi^-$.

Распределение сигнальных событий по фазовому пространству для всех трех конечных состояний параметризуется следующей общей моделью:

$$A_\pi = A_{Z1} + A_{Z2} + A_{f0} + A_{f2} + A_{NR},$$

где A_{Z1} и A_{Z2} – амплитуды распада $Y(5S)$ с образованием промежуточных Z состояний, A_{f0} и A_{f2} – 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 определяются относительные фазы и вклады отдельных квазидвухчастичных амплитуд, а также массы и ширины Z_b состояний. Каждое конечное состояние подгоняется в четырех вариантах модели, соответствующих квантовым числам Z_b резонансов: $J^P = 1^+, 1^-, 2^+$ и 2^- (комбинации 0^- и 0^+ запрещены).

Важнейшим результатом данной работы стало определение спина и P -четности ранее обнаруженных экзотических состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$ непосредственно из данных. Наилучшее описание наблюдаемых распределений сигнальных событий по фазовому пространству получено с моделью $J^P = 1^+$. Существование распадов вида $Y(5S) \rightarrow Y(nS)\pi^+$ делает невозможным классификацию Z_b как двухкварковых систем. Минимальным набором, таким образом, является набор из четырех кварков. Авторы данной работы предложили рассматривать новые состояния как слабо связанную систему B и \bar{B}^* мезонов в случае

$Z_b(10610)$ и систему $B^*\bar{B}^*$ мезонов в случае $Z_b(10650)$ состояния, соответственно. Такая модель не только хорошо согласуется со всеми известными на сегодня свойствами состояний Z_b , но и предсказывает новые свойства, некоторые из которых могут быть проверены с уже имеющейся статистикой. Результаты работы опубликованы в журнале *Physical Review Letters*.

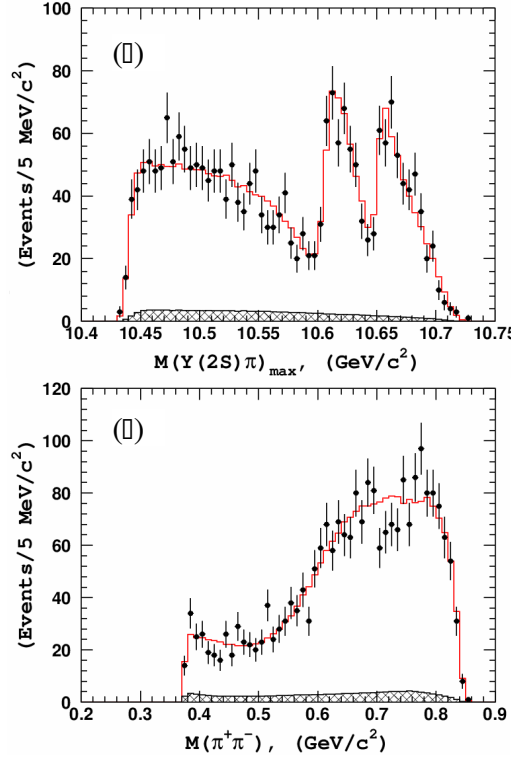


Рис. 1.9.4. Распределение по инвариантной массе $Y(2S)\pi^+$ системы (а) и $\pi^+\pi^-$ системы (б) для событий из сигнальной области для распада $Y(5S) \rightarrow Y(2S)\pi^+\pi^-$. Точки – экспериментальные данные, гистограмма – результат подгонки, заштрихованная гистограмма показывает ожидаемый уровень фоновых событий.

Изучение распадов $Y(5S) \rightarrow Y(1,2S)\eta$

В настоящее время теоретические модели плохо описывают переходы между боттомониями с η мезоном. В частности, измеренная ширина перехода $Y(4S) \rightarrow Y(1S)\eta$ на два порядка превышает расчетную. Поэтому измерение вероятностей распадов $Y(5S) \rightarrow Y(1,2S)\eta$ представляет несомненный научный интерес. В эксперименте Belle была набрана рекордная статистика e^+e^- аннигиляции при энергии $Y(5S)$ резонанса: 120 фб^{-1} .

Для анализа используются полностью восстановленные события $Y(5S) \rightarrow Y(nS)\eta$, где $Y(nS)$ восстанавливается в канале распада $Y(1,2S) \rightarrow \mu^+\mu^-$ и $Y(2S) \rightarrow Y(1S)\pi^+\pi^-$. η мезон реконструируется в конечных состояниях $\gamma\gamma$ и $\pi^+\pi^0$. Для подавления фона требуется надежная идентификация мюонов системой

KLM детектора Belle. Для выделения сигнала используется распределение по разности полной энергии кандидата и энергии столкновений в системе центра масс. Также используются распределения по инвариантной массе кандидатов η мезонов. Соответствующие распределения показаны на рисунке 1.9.5.

В результате были измерены следующие вероятности распадов:

$$\text{Br}[Y(5S) \rightarrow Y(1S)\eta] = (7,3 \pm 1,6 \pm 0,8) \times 10^{-4},$$

$$\text{Br}[Y(5S) \rightarrow Y(2S)\eta] = (38 \pm 4 \pm 5) \times 10^{-4},$$

$$\text{Br}[Y(5S) \rightarrow Y(1S)\eta'] < 1,2 \times 10^{-4} \text{ (90\% CL)}.$$

Полученные результаты были доложены на международных научных конференциях. Готовится публикация в реферируемый журнал.

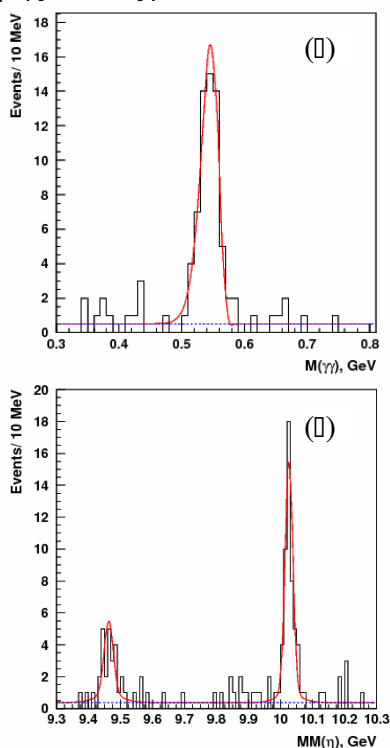


Рис. 1.9.5: (а) Распределение по недостающей массе к $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ кандидатам. (б) Распределение по инвариантной массе для кандидатов $\eta \rightarrow \gamma \gamma$. Гистограммы представляют данные, сплошные кривые показывают результат аппроксимации, штрихованные кривые дают представление о вкладе фоновых событий.

Обнаружение экзотического состояния $Z^0(10650)$

В 2011 году сотрудниками института в анализе распадов $Y(5S) \rightarrow Y(nS)\pi^+\pi^-$ были обнаружены два экзотических заряженных состояния $Z^+(10610)$ и $Z^+(10650)$, распадающихся на $Y(nS)\pi^+$. Была предложена модель, описывающая новые состояния как связанную систему $B\bar{B}^*$ и B^*B мезонов для $Z(10610)$ и $Z(10650)$, соответственно. Такая модель хорошо описывает наблюдаемые свойства Z состояний.

Для проверки этой модели был проведен поиск и амплитудный анализ распадов $Y(5S) \rightarrow Y(nS)\pi^0\pi^0$. $Y(nS)$ восстанавливается в канале распада

$Y(1,2S) \rightarrow \mu^+\mu^-e^+e^-$ и $Y(2S) \rightarrow Y(1S)\pi^+\pi^-$. π^0 мезоны реконструируются из пары фотонов. Для идентификации мюонов используется система KLM детектора Belle, для восстановления фотонов и идентификации электронов используется электромагнитный калориметр. Выбираются события, удовлетворяющие законам сохранения энергии-импульса. Число сигнальных событий определяется из аппроксимации распределения по недостающей массе к двум π^0 (Рис. 1.9.6).

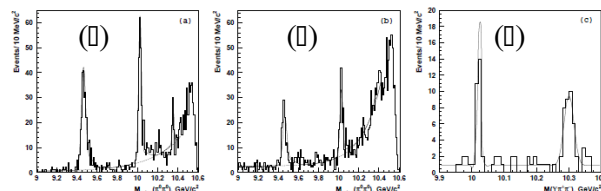


Рис. 1.9.6: Распределения по недостающей массе к системе $\pi^0\pi^0$ для $Y(nS)\pi^0\pi^0$ кандидатов, (а) $Y(nS) \rightarrow \mu^+\mu^-$, (б) $Y(nS) \rightarrow e^+e^-$. На (в) показано распределение по инвариантной массе $Y(1S)\pi^+\pi^-$. Экспериментальные данные показаны гистограммами, сплошные кривые представляют результат аппроксимации, штрихованные кривые показывают вклад фоновых событий.

Таким образом, были измерены следующие вероятности распадов: $\text{Br}[Y(5S) \rightarrow Y(1S)\pi^0\pi^0] = (2,25 \pm 0,11 \pm 0,20) \times 10^{-3}$,

$$\text{Br}[Y(5S) \rightarrow Y(2S)\pi^0\pi^0] = (3,66 \pm 0,22 \pm 0,48) \times 10^{-3}.$$

Для поиска возможных промежуточных состояний был проведен амплитудный анализ трехчастичных состояний $Y(nS)\pi^0\pi^0$. Распределение событий по Далиц плоту для обоих конечных состояний описывается следующей общей моделью:

$$A = A_{Z1} + A_{Z2} + A_{f0} + A_{f2} + A_{NR},$$

где A_{Z1} и A_{Z2} – амплитуды распада $Y(5S)$ с образованием промежуточных Z состояний, A_{f0} и A_{f2} – 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 определяются относительные фазы и вклады отдельных квазидвухчастичных амплитуд. Массы и ширины Z состояний зафиксированы в значениях $Z^+(10610)$ и $Z^+(10650)$. В процессе анализа были изучены возможные модельные и систематические неточности. В результате в конечном состоянии $Y(2S)\pi^0\pi^0$ было получено надежное указание на существование нейтрального экзотического состояния $Z^0(10610)$. Сигнал $Z^0(10650)$ найден статистически незначимым из-за небольшой доступной статистики, примерно в 10 раз меньшей, чем в $Y(nS)\pi^+\pi^-$, что, однако, не противоречит его существованию. На Рис. 7 показаны проекции на инвариантную массу $Y(2S)\pi^0$. Полученные результаты были доложены на международной научной конференции и опубликованы в [arXiv:1207.4345](https://arxiv.org/abs/1207.4345). Готовится публикация в реферируемый журнал.

Далиц-анализ распада $B \rightarrow D^* \omega \ell$

Сотрудниками института выполнен Далиц-анализ распада $B \rightarrow D^* \omega \ell$, который интересен как с точки зрения D^{**} спектроскопии, так и с точки зрения изучения динамики рождения легких ω -состояний. Изучение свойств орбитально-возбужденных состояний D -мезонов (так называемые D^{**}) позволяет проверить Эффективную Теорию Тяжелого Кварка (HQET) и правила сумм КХД. В настоящее время существуют некоторые несоответствия между теорией и экспериментом для распадов B -мезонов в D^{**} -состояния. Помимо промежуточных D^{**} -состояний в данной моде распада происходит рождение легких ω -резонансов. Особый интерес представляют виртуальный $\rho(770)$ и его возбуждения $\rho(1450)$ и $\rho(1700)$. Состояние $\rho(1450)$ наблюдалось в распадах B -мезонов всего лишь раз коллаборацией CLEO в этой моде распада без учета, однако, вклада от виртуального $\rho(770)$. Состояние $\rho(1700)$ в распадах B -мезонов не наблюдалось вообще. Таким образом, и D^{**} , и легкие ω -резонансы учитываются в полной сигнальной амплитуде распада.

На текущем этапе работы предложена параметризация матричного элемента для распада $B \rightarrow D^* \omega \ell$, исследованы угловые распределения конечных частиц распада. Результаты данного исследования опубликованы в Journal of High Energy Physics. Кроме того, выполнена процедура сигнальной реконструкции, измерена полная ширина распада, получены оценки для параметров модели распада. Для извлечения параметров сигнальной модели проведена небинированная подгонка к экспериментальным данным. Результаты подгонки для инвариантных масс $D^* \pi$ пары и $\omega \ell$ пары представлены на Рис. 1.9.8. Работа близка к завершению, и после процедуры обсуждения внутри коллаборации будет опубликована.

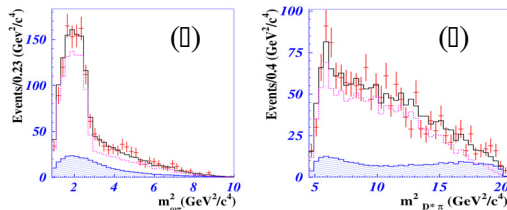


Рис. 1.9.8. Результаты подгонки сигнальной области на Далиц-плоте. (а) Распределение по массе $D^* \pi$, (б) распределение по массе $\omega \ell$. Точки — экспериментальные данные, штрихованная гистограмма — вклад фона в сигнальную область, пунктирная гистограмма — сигнальная компонента подгонки и черная гистограмма — полный результат подгонки.

Работы по исследованию распадов τ -лептона

Была завершена работа по поиску нарушающих лептонный аромат распадов $\tau \rightarrow \Gamma h h'$, где $l = e, \mu$ и $h = \pi, K$ (всего 14 различных мод распада). При анализе использовалась статистика, соответствующая 854 fb^{-1}

или 782×10^6 рожденных пар τ -лептонов. Во всех модах, кроме двух, искомый сигнал не превышает ожидаемого фона, что позволяет установить верхние пределы на относительные вероятности соответствующих распадов: $B(\tau^- \rightarrow e^- h h') < (2,0 - 3,7) \times 10^{-8}$, $B(\tau^- \rightarrow \mu^- h h') < (2,1 - 8,6) \times 10^{-8}$ на 90% уровне достоверности. Эти пределы в 1,8 раз улучшают прежние результаты Belle, а также являются более сильными, чем полученные на BaBar. Улучшение достигнуто благодаря увеличению использованной статистики, более сильному подавлению фоновых процессов, а также более эффективному отбору событий. Результаты показаны в Таблице 1.9.1, опубликованы в Nuclear Physics B.

Таблица 1.9.1. Значения верхних пределов для каждой изученной моды. В таблице приведены сигнальная эффективность (ϵ), число ожидаемых событий фона (N_{BG}), полная систематическая неопределенность (σ_{sys}), число наблюдаемых событий в сигнальной области (N_{obs}), верхний предел на уровне достоверности 90% на числа сигнальных событий, включая систематические неопределенности (s_{90}), и верхний предел на уровне достоверности 90% на относительные вероятности распадов (B) для каждой моды распада.

Мода распада	ϵ (%)	N_{BG}	σ_{sys} (%)	N_{obs}	s_{90}	B (10^{-8})
$\tau^- \rightarrow \mu^- \pi^+ \pi^-$	5,83	$0,63 \pm 0,23$	5,7	0	1,87	2,1
$\tau^- \rightarrow \mu^- \pi^+ \pi^-$	6,55	$0,33 \pm 0,16$	5,6	1	4,01	3,9
$\tau^- \rightarrow e^- \pi^+ \pi^-$	5,45	$0,55 \pm 0,23$	5,7	0	1,94	2,3
$\tau^- \rightarrow e^- \pi^+ \pi^-$	6,56	$0,37 \pm 0,19$	5,5	0	2,10	2,0
$\tau^- \rightarrow \mu^- K^+ K^-$	2,85	$0,51 \pm 0,19$	6,1	0	1,97	4,4
$\tau^- \rightarrow \mu^- K^+ K^-$	2,98	$0,25 \pm 0,13$	6,2	0	2,21	4,7
$\tau^- \rightarrow e^- K^+ K^-$	4,29	$0,17 \pm 0,10$	6,7	0	2,29	3,4
$\tau^- \rightarrow e^- K^+ K^-$	4,64	$0,06 \pm 0,06$	6,5	0	2,39	3,3
$\tau^- \rightarrow \mu^- \pi^+ K^-$	2,72	$0,72 \pm 0,28$	6,2	1	3,65	8,6
$\tau^- \rightarrow e^- \pi^+ K^-$	3,97	$0,18 \pm 0,13$	6,4	0	2,27	3,7
$\tau^- \rightarrow \mu^- K^+ \pi^-$	2,62	$0,64 \pm 0,23$	5,7	0	1,86	4,5
$\tau^- \rightarrow e^- K^+ \pi^-$	4,07	$0,55 \pm 0,31$	6,2	0	1,97	3,1
$\tau^- \rightarrow \mu^- K^+ \pi^-$	2,55	$0,56 \pm 0,21$	6,1	0	1,93	4,8

$\tau^- \rightarrow e^+ K^- \pi^-$	4,00	$0,46 \pm 0,21$	6,2	0	2,03	3,2
------------------------------------	------	-----------------	-----	---	------	-----

Близка к завершению работа по измерению относительных вероятностей распада и спектров масс в распадах τ^- , включающих K_S^0 мезон. В этом случае при анализе использовалась статистика, соответствующая 669 фб^{-1} или 616×10^6 рожденных пар τ -лептонов. В результате на основе матрицы эффективности были определены относительные вероятности инклюзивного распада $\tau^- \rightarrow K_S^0 X^- \nu_\tau$, а также шести эксклюзивных распадов: $\tau^- \rightarrow K_S^0 \pi^- \nu_\tau$, $\tau^- \rightarrow K_S^0 K^- \nu_\tau$, $\tau^- \rightarrow \pi^0 K_S^0 \pi^- \nu_\tau$, $\tau^- \rightarrow \pi^0 K_S^0 K^- \nu_\tau$, $\tau^- \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^- \nu_\tau$ и $\tau^- \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^0 \nu_\tau$. Наконец, используя процедуру устранения детекторных эффектов, были найдены спектры инвариантных масс для распадов $\tau^- \rightarrow \pi^0 K_S^0 \pi^- \nu_\tau$ и $\tau^- \rightarrow \pi^0 K_S^0 K^- \nu_\tau$ (Рис. 1.9.9). Предварительные результаты этой работы можно найти в журнале Nuclear Physics B. Окончательные результаты будут также опубликованы в ближайшее время.

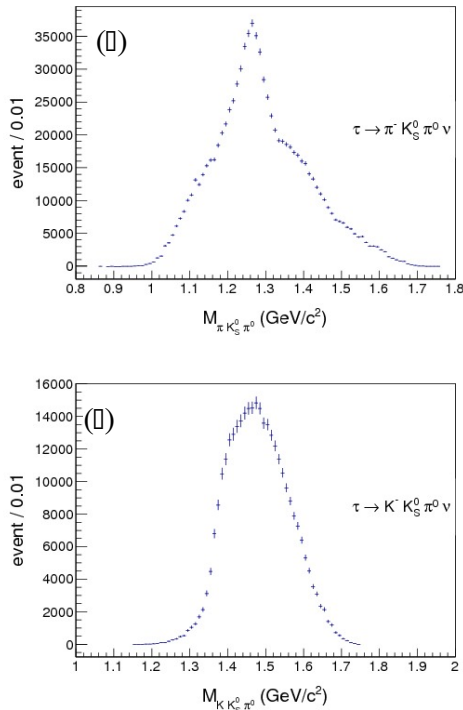


Рис. 1.9.9. Спектры инвариантных масс $\pi^0 K_S^0 \pi^-$ (а) и $\pi^0 K_S^0 K^-$ (б) в распадах τ -лептона.

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 величиной для теории физики тяжёлых кварков, так как вероятность большинства других распадов Λ_c^+ бариона экспериментально измерены относительно этой моды. Значение абсолютной вероятности распада $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$, $(5,0 \pm 1,3)\%$, обладает большой неопределённостью (26%) в основном, из-за зависимости проделанных измерений от теоретических моделей. Сотрудниками инсти-

тута была разработана модельно независимая методика измерения вероятности распада $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$, основанная на выделении эксклюзивных процессов $e^+ e^- \rightarrow \Lambda_c^+ p \square D \square^0$ и $\Lambda_c^+ p \square \pi^+ D^{(*)-}$ двумя способами: (1) восстановление Λ_c^+ в массе отдачи (Рис. 1.9.10(а)) и (2) полное восстановление искомого процесса с регистрацией Λ_c^+ в инвариантной массе $p K^- \pi^+$ по пику в нуле в энергии отдачи (Рис. 1.9.10(б)). Отношение сигнальных чисел событий (2) к (1) даёт искомый результат с погрешностью порядка 10% (с учётом систематических неопределённостей). Работа близка к завершению, и после процедуры обсуждения внутри коллораборации будет опубликована.

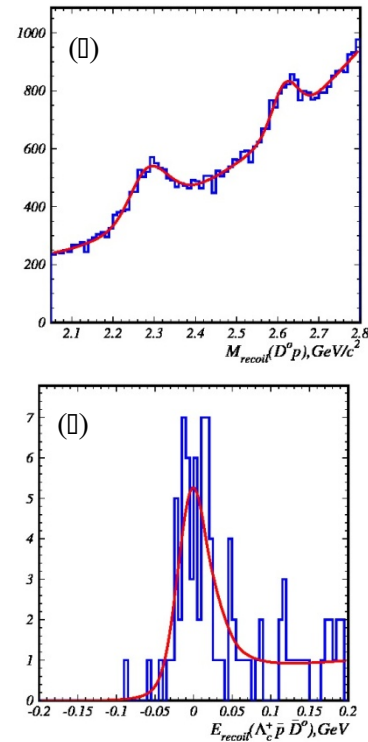


Рис. 1.9.10. (а) Масса отдачи ($D^0 p$) в $\text{ГэВ}/c^2$ для процесса $e^+ e^- \rightarrow \Lambda_c^+ p \square D \square^0$, $D \square^0 \rightarrow K^- \pi^+$. (б) Энергия отдачи ($\Lambda_c^+ p \square D \square^0$) в ГэВ для процесса $e^+ e^- \rightarrow \Lambda_c^+ p \square D \square^0$, $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$.

Модельно-независимое измерение параметров смешивания D-мезонов

В настоящий момент, в рамках эксперимента Belle, продолжается работа по измерению параметров смешивания нейтральных D-мезонов. Для получения параметров смешивания и параметров нарушения CP-симметрии в смешивании используется модельно-независимый подход, предложенный авторами в Phys. Rev. D82, 034033 (2010). Метод использует трехчастичное конечное состояние, однако не зависит от модели распада D-мезона в это состояние, что позволяет избавиться от модельной ошибки. Параметры смешивания являются принципиально важными для физики очарованного кварка. Измерение параметров CP-

нарушения в смешивании обеспечит проверку Стандартной Модели, так как в ней эти параметры жестко ограничены. Кроме того, прецизионное измерение параметров смешивания позволит уменьшить теоретическую неопределенность в других измерениях, в частности, измерении угла треугольника унитарности γ . На данном этапе изучены распределения кинематических параметров для сигнальных и фоновых событий; уточняется стратегия извлечения параметров смешивания из распределения по времени распада D-мезонов (Рис. 1.9.11). В следующем году планируется получить предварительные результаты.

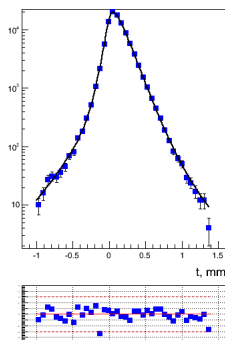


Рис. 1.9.11. Пример распределения по времени распада D-мезонов. Вид этого распределения чувствителен к параметрам смешивания D-мезонов.

1.9.3. Модернизация детектора

В настоящее время активно идут работы по модернизации 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 приводит к новым требованиям к системам детектора. Для обеспечения эффективной работы калориметру также требуется модернизация. Группа сотрудников института участвует в методических работах по модернизации калориметрической системы детектора. Ими разработан и предложена схема модернизации калориметра.

Для цилиндрической части калориметра предполагается замена электроники на новую, которая обеспечит непрерывную оцифровку сигналов со счетчиков и последующую подгонку данных откликом известной формы. Такая процедура даст возможность определять как энергию, так и время прихода сигнала. Использование временной информации позволит в несколько раз подавить частоту возникновения ложных 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 чистого 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 2012 году в институте была закончена разработка и сделан заказ на 100 модулей формирователя-оцифровщика в стандарте VME (Рис. 1.9.12). Модуль является основным блоком новой системы электроники. Он служит для формирования сигналов со счетчиков, оцифровки формы сигнала каждые 0,5 мкс и последующей цифровой обработки с восстановлением амплитуды и времени прихода сигнала. Кроме того, модуль формирует быстрый аналоговый сигнал для использования в системе нейтрального триггера. Проверка модулей показала их работоспособность и соответствие измеренных параметров ожидаемым. В 2012 году был отдан заказ на массовое производство модулей формирователя-оцифровщика. К апрелю 2013 года будет изготовлено 100 таких плат.



Рис. 1.9.12. Электронный модуль формирователя-оцифровщика в стандарте VME на 16 каналов.

Для контроля работоспособности производимых модулей и измерения их параметров был создан стенд, показанный на Рис. 1.9.13, позволяющий проверять 16-канальные усилители-формирователи, амплитудно-цифровые преобразователи, программируемые логические интегральные схемы и формирователи быстрого триггерного сигнала. Входы измеряемого модуля подключаются к 16-ти предусилителям, а информация считывается в компьютер через блоки коллектора. Триггерный сигнал подается на блок быстрой оцифровки триггерной информации (FAM), разработанный нашими коллегами из Университета Хяньян (Корея). Было разработано программное обеспечение, позволяющее проводить следующие тесты и сохранять их результаты:

- проверка работоспособности всех разрядов АЦП;
- проверка программируемой логической интегральной схемы;
- определение формы сигналов в 16-ти спектральных каналах и получение параметров функции, описывающей эту форму;

- определение формы быстрого триггерного канала и получение параметров функции, описывающей эту форму;
- измерение некогерентных и когерентных шумов;
- измерение коэффициента преобразования и нелинейности спектрометрических и триггерного каналов;
- проверка работоспособности и измерение диапазона регулировки аттенуаторов триггерного канала.

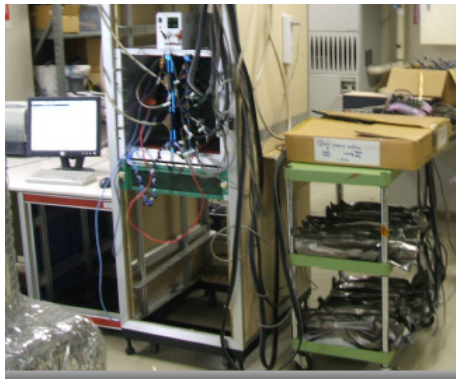
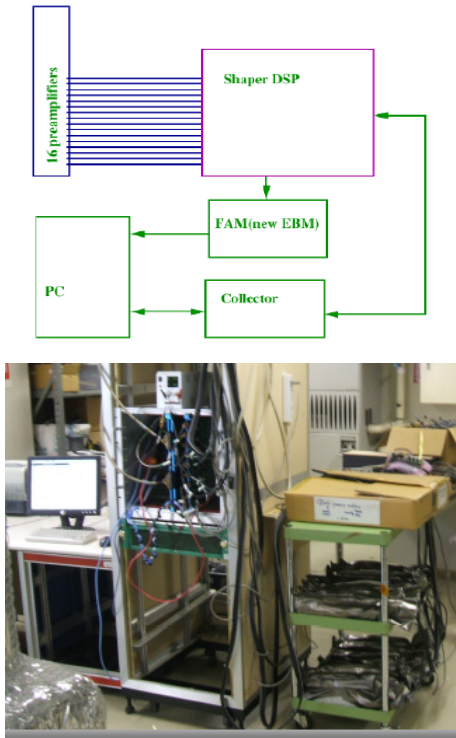


Рис. 1.9.13. Схема и внешний вид стенда проверки модулей формирователей-оцифровщиков.

Проверка одного модуля занимает около двадцати минут, после чего выдается графическое представление измеренной информации (Рис. 1.9.14) и список параметров, не удовлетворяющих спецификации.

На основе 12 модулей был создан стенд для проверки счетчиков цилиндрического калориметра, показанный на рисунке 1.9.15. Стенд позволяет проводить измерения 184 счетчиков калориметра. Был измерен уровень шумов, отклик на калибровочный сигнал и положение пика, соответствующего максимально вероятному энергвыделению минимально ионизирующих космических частиц. Последовательно переключая стенд на 36 станций цилиндрического калориметра, в течение трех месяцев были проверены все счетчики. В результате было выявлено около 10 поврежденных кабелей, которые были отремонтированы. Все счетчики оказались исправными. Результаты измерений показаны на рисунке 1.9.16.

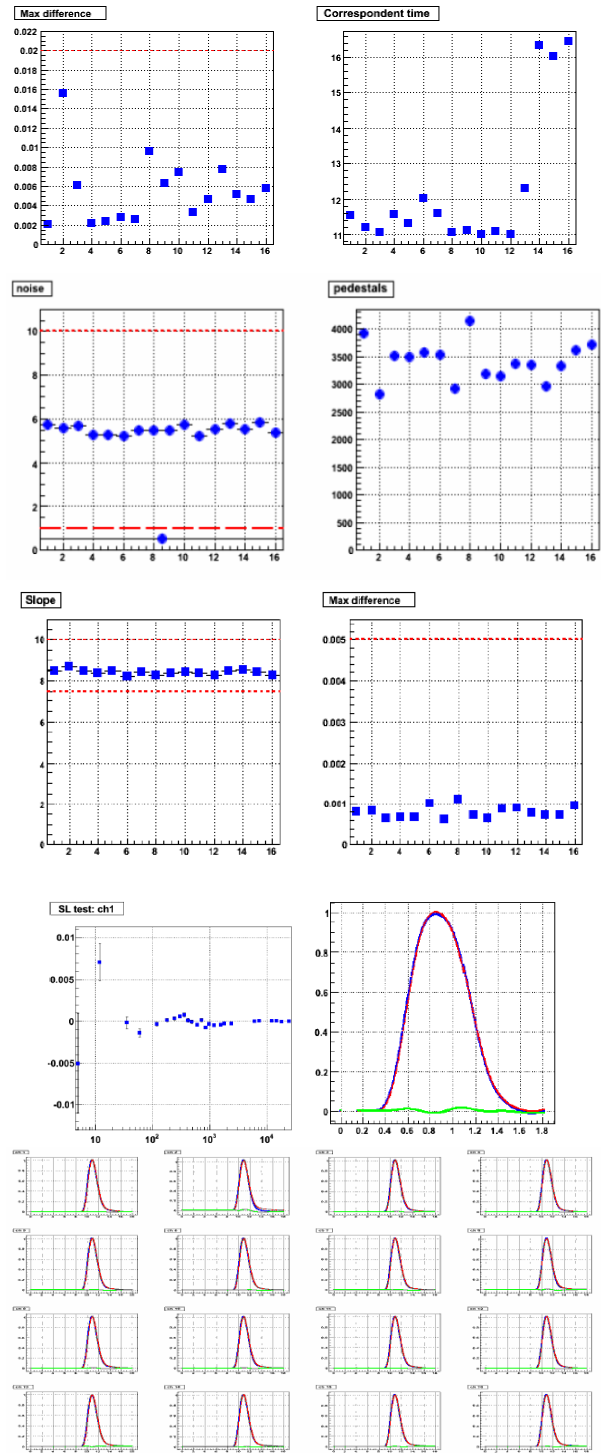


Рис. 1.9.14. Пример графического представления информации со стенда проверки модулей формирователей-оцифровщиков.

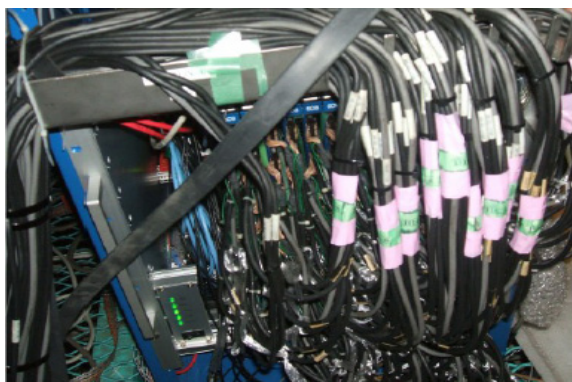
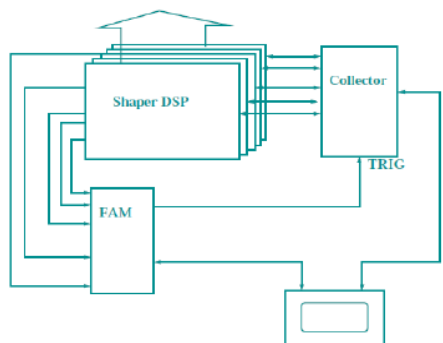


Рис. 1.9.15. Схема и внешний вид стенда проверки счетчиков цилиндрического калориметра.

этой версии была установлена логика, позволяющая работать с высокоскоростным (Гигабит/сек) обменом информацией. Новый модуль был произведен, и сейчас ведется его проверка.

Сотрудниками института были разработаны механические и электрические спецификации для нового VME крейта (Рис. 1.9.17). Эти спецификации были выбраны так, чтобы крейт мог обеспечивать работу 12 модулей формирователей-оцифровщиков, не увеличивая шумы. На данный момент был изготовлен и проверен один крейт. На основе измерений, проведенных с этим крейтом, были внесены доработки в конструкцию, и сейчас готовится заказ на массовое производство таких крейтов.



Рис. 1.9.17. Внешний вид VME крейта для калориметрической электроники.

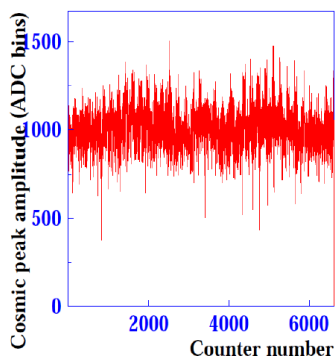
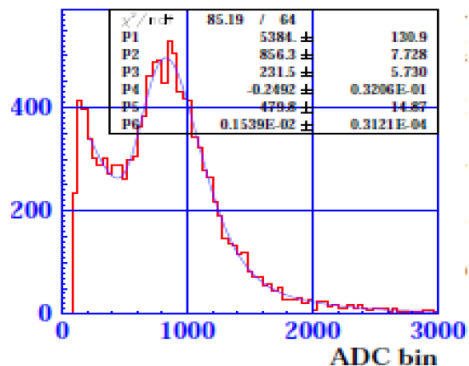


Рис. 1.9.16. Спектр энерговыделения минимально ионизирующих частиц (вверху). Положение пика спектра в зависимости от номера счетчика (внизу).

Кроме разработки модуля формирователей-оцифровщиков командой электронщиков института была разработана новая версия модуля коллектора. В

Следующим этапом модернизации в торцевой части калориметра планируется установить кристаллы чистого CsI. В качестве возможного поставщика кристаллов рассматривается Институт сцинтилляционных материалов в Харькове. В 2011 году был сделан заказ на опытную партию из 50 кристаллов. 15 кристаллов из этой партии были отправлены в ИЯФ, где были проведены измерения радиационной стойкости счетчиков на их основе.

Схема установки облучения показана на рисунке 1.9.18(a). Кристаллы облучались тормозными фотонами, производимыми на свинцовом конвертере пучком электронов с энергией 1,4 МэВ от промышленно-

го ускорителя ЭЛВ-6, созданного и работающего в ИЯФ. Средняя энергия фотонов составляла около 0,4 МэВ (Рис. 1.9.18(б)). При облучении кристаллов такими фотонами с двух сторон неоднородность дозы составляет не более 20%. Поглощенная доза измерялась счетчиком на основе небольшого ($2 \times 2 \times 1$ см) кристалла из CsI(Tl).

Ожидаемая полная доза, которая будет получена счетчиками за время работы детектора, составляет около 10 крад. Было проведено несколько серий облучений с дозой: 0,3, 1, 3, 10 крад. На рисунке 1.9.19 показаны распределение падения световыхода при различных дозах и корреляция падений световыхода для максимальной и минимальных доз. Для большинства кристаллов падение световыхода не превышает 20%, что является приемлемым для успешной работы

калориметра. Для трех счетчиков падение световыхода составило около 30%. Информация о радиационной стойкости будет использована для усовершенствования технологии роста кристаллов. Наличие корреляции падения световыхода при большой и малой дозе позволяет вести отбраковку кристаллов по результатам облучения дозой 300 рад.

В 2013 году планируется провести проверку 100 модулей формирователей-оцифровщиков и произвести еще 330 таких блоков. Планируется завершить разработку и начать массовое производство модулей коллектора. Кроме того, предстоит провести разборку, модернизацию преусилителей торцевого калориметра и проверку его счетчиков.

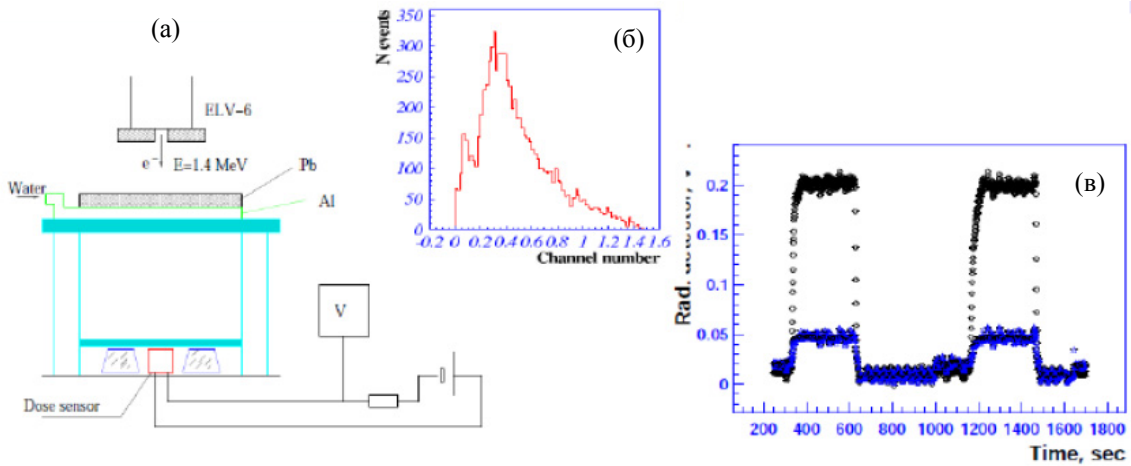


Рис. 1.9.18. (а) Схема установки для облучения кристаллов. (б) Спектр фотонов после конвертора. (в) Сигнал со счетчика дозы во время облучения.

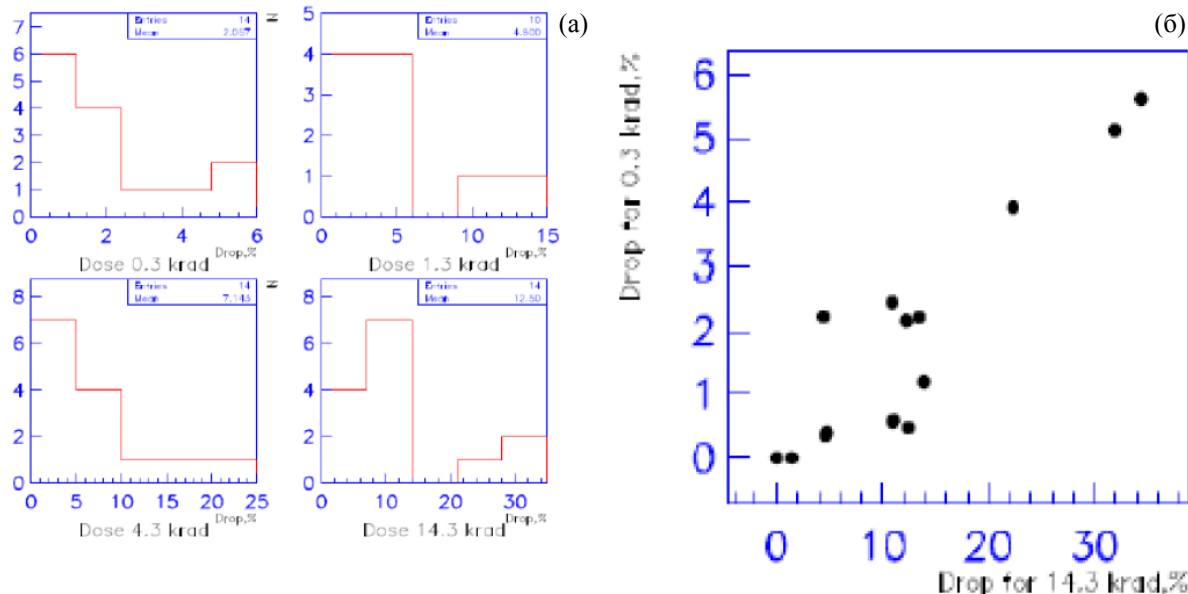


Рис. 1.9.19. (а) Падение световыхода при различных дозах облучения. (б) Корреляция падения световыхода при большой и малой дозах.

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 300 физиков, представляющих 72 института из 12 стран, в том числе 11 сотрудников ИЯФ. В 2012 году коллаборацией было опубликовано 32 статьи (30 в 2011 году). Полное число публикаций достигло 504.

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. Суть метода состоит в регистрации процессов с излучением жесткого фотона начальными частицами, так что остаток энергии уходит на рождение адронов при более 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 .

В 2012 году закончен анализ процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ по полной статистике, около 500 фб^{-1} , накопленной в эксперименте BABAR. Анализ проводился с использованием методики радиационного возврата. Сечение было измерено от порога реакции до 4.5 ГэВ. Ниже 3 ГэВ это наиболее точное на сегодняшний день измерение. Из измеренного сечения был извлечен эффективный электромагнитный формфактор протона. Измеренная зависимость формфактора от инвариантной массы пары $p\bar{p}$ показана на рис. 1 в сравнении с данными предыдущих экспериментов. Был подтвержден рост формфактора вблизи порога реакции, обнаруженный ранее в эксперименте PS170 на установке LEAR (ЦЕРН). При более высоких энергиях формфактор имеет сложное энергетическое поведение. В трех областях, около 2.2 ГэВ, 2.55 ГэВ и 3 ГэВ, было обнаружено ступенеобразное падение формфактора и сечения с ростом энергии. На настоящий момент теоретического объяснения для такого поведения не найдено.

При анализе углового распределения протона было измерено отношение электрического и магнитного формфакторов. Зависимость отношения форм-

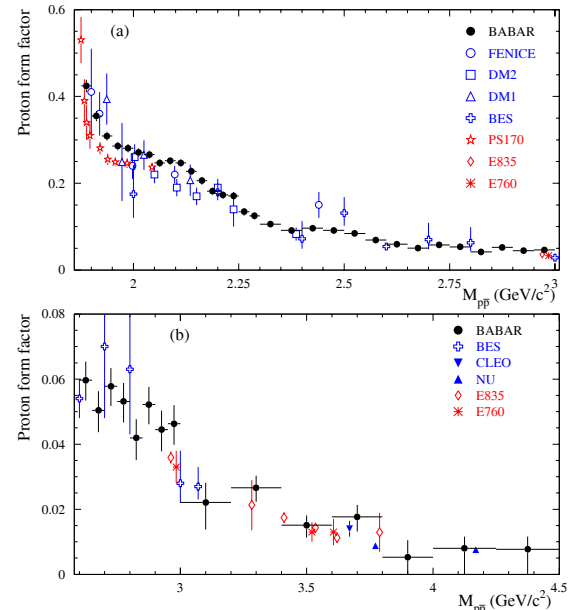


Рис. 1: Эффективный формфактор протона, измеренный в эксперименте BABAR и других e^+e^- и $p\bar{p}$ экспериментах для интервала инвариантных масс $p\bar{p}$ от порога до 3.01 ГэВ/ c^2 (а) и от 2.58 до 4.50 ГэВ/ c^2 (б).

факторов от инвариантной массы пары $p\bar{p}$ приведена на рис. 2. Вблизи порога, ниже 2.1 ГэВ, это отношение оказалось значительно больше единицы, в противоречии с измерением в эксперименте PS170. Была также измерена асимметрия углового распределения протона. Она оказалась мала: -0.025 ± 0.014 и при имеющемся уровне точности совместима с нулевым значением.

В настоящее время физиками ИЯФ ведется анализ по измерению с более высокой точностью параметра V_{ub} . Продолжаются работы по измерению сечений методом радиационного возврата.

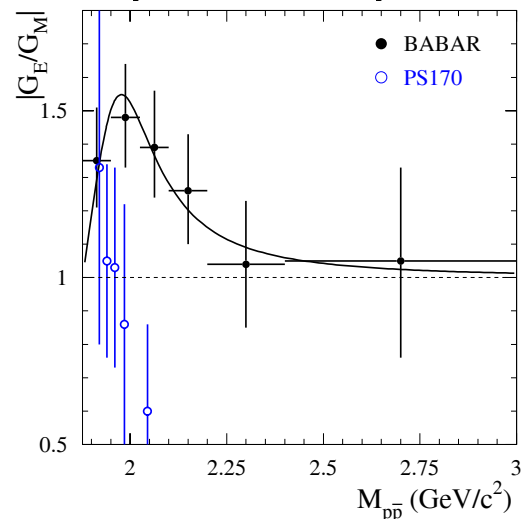


Рис. 2: Измеренное в эксперименте BABAR отношение $|G_E/G_M|$ (черные кружки) как функция инвариантной массы пары $p\bar{p}$. Пустыми кружками показаны результаты предыдущего измерения в эксперименте PS170 на установке LEAR (ЦЕРН).

1.11. УЧАСТИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ATLAS НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ (ЛНС)

В 2012 году детекторы ATLAS и CMS набирали статистику при рекордной энергии столкновений протонов 8 ТэВ в системе центра масс. К июлю было набрано около 6 обратных фемтобарн (fb^{-1}), чуть больше, чем за весь 2011 год при энергии 7 ТэВ, а всего за 2012 год – около 20 fb^{-1} .

Основным результатом стало достоверное наблюдение сигнала от новой частицы, свойства которой оказались близки к ожидаемым для хиггсовского бозона. Сообщение об открытии было сделано 4 июля 2012 года на специальном семинаре в CERN, приуроченном к началу крупнейшей конференции по физике элементарных частиц ICHEP2012. Это открытие явилось кульминацией упорных поисков, которые в течение нескольких десятилетий велись на крупнейших установках по физике частиц. Важно отметить, что сотрудники ИЯФ внесли существенный вклад в общий успех, начиная с конструирования и изготовления многих элементов ускорителя и детекторов (всего было поставлено оборудования на сумму более 140 миллионов швейцарских франков), продолжая работами по запуску, калибровке, настройке моделирования и реконструкции и заканчивая участием в наборе и обработке данных (в частности, по распаду хиггсовского бозона в четыре лептона).

Модель с хиггсовским бозоном была предложена теоретиками еще в 60-х годах для простейшей реализации нарушения электрослабой симметрии. Взаимодействие бозона Хиггса с другими фундаментальными частицами зависит от величины массы хиггсовского бозона. К сожалению, и теоретические соображения, и результаты предыдущих экспериментов давали только очень слабые ограничения на ее значение, и приходилось вести поиск в широком интервале масс (см. Рис. 1.11.1).

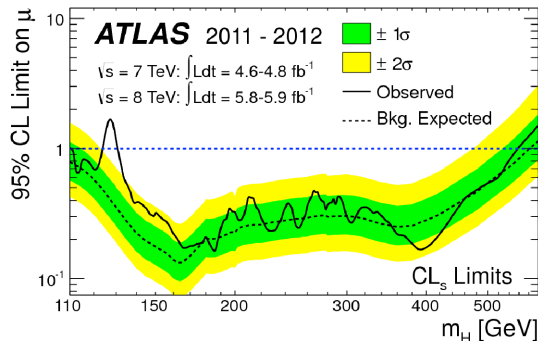


Рис.1.11.1. Комбинированный (по трём каналам поиска бозона Хиггса, $H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ и $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$) верхний предел (на уровне достоверности 95%) на значение параметра μ (отношение измеренного сечения к ожидаемому в Стандартной Модели). Исключен интервал масс 111-559 ГэВ, за вычетом области 122-131 ГэВ, где наблюдается значимое превышение сигнала над фоном.

Другими обстоятельствами, затрудняющими поиск хиггсовского бозона (помимо малости сечения рождения), являются тяжелая фоновая ситуация для «высоковероятных» мод распада (например, в два фотона, см. Рис.1.11.2 и малая величина бранчинга (относительной вероятности) для более «чистых» каналов (например, с четырьмя лептонами в конечном состоянии, см. Рис.1.11.3).

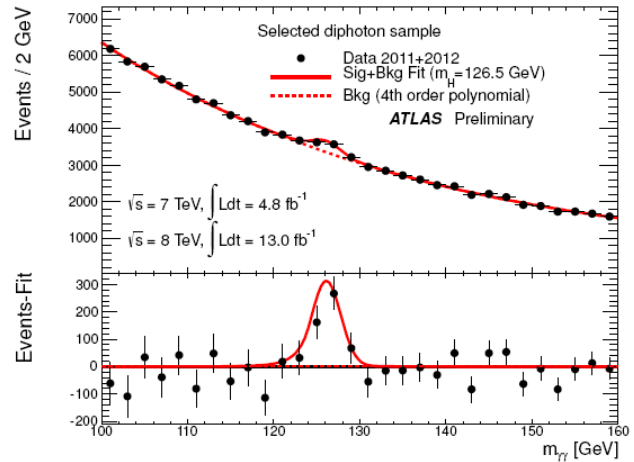


Рис.1.11.2. Распределение по инвариантной массе двух фотонов $m_{\gamma\gamma}$. Внизу показана подгонка сигнала после вычитания фона (который аппроксимировался полиномом четвертого порядка).

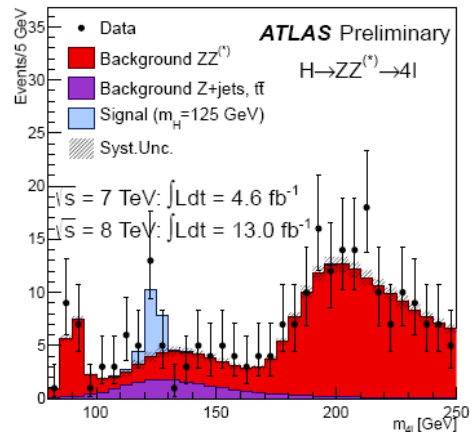


Рис.1.11.3. Распределение по инвариантной массе четырех лептонов m_{4l} для отобранных событий-кандидатов. Голубым цветом показан ожидаемый вклад сигнала от хиггсовского бозона Стандартной Модели с массой $m_H=125$ ГэВ.

На конец 2012 года существование нового бозона можно считать твердо установленным, вероятность флуктуации фона оценивается как $2,8 \cdot 10^{-8}$ для распада в два фотона ($2,1 \cdot 10^{-5}$ для распада в четыре лептона), что соответствует 5,4 (4,1) стандартным отклонениям. Масса нового бозона (по последним данным детектора ATLAS) равна $125,2 \pm 0,3 \pm 0,6$ ГэВ. Однако нужно понимать, что далеко не обязательно новая частица – это именно бозон Хиггса Стандартной модели (хотя

имеющиеся данные пока этому не противоречат). Подобные частицы имеются во многих теориях «новой физики». Например, в минимальном варианте суперсимметрии должно быть 5 хиггсовских бозонов (2 заряженных и 3 нейтральных, один из последних должен иметь отрицательную четность). Ясно, что для определения свойств новой частицы (спина, четности, относительных вероятностей различных мод распада, констант связи) потребуются длительная кропотливая работа и значительно больший интеграл статистики. Он может быть набран не ранее 2015-17 годов, поскольку на 2013-14 годы запланирована остановка для подготовки ускорителя и детекторов к работе на проектной энергии (14 ТэВ в системе центра масс).

Поиск новой физики далеко не ограничивается хиггсовскими бозонами. В частности, физики ИЯФ продолжали работы по поиску тяжелых нейтрино в канале с лептонами и адронными струями в конечном состоянии. Проверялись две теоретические модели – модель зеркальной симметрии, в которой нейтрино рождается через гипотетический правый векторный бозон W_R , и модель с виртуальным W бозоном Стандартной модели. Установлены лучшие в мире пределы на массы (до уровня 1,5 ТэВ), сечения рождения и константы связи тяжелых нейтрино. По результатам этих работ К.Ю. Сковпень защитил кандидатскую диссертацию. Продолжается анализ данных, набранных при энергии 8 ТэВ. Однако дальнейшее существенное продвижение возможно только при увеличении энергии сталкивающихся протонов в ЛHC (оно планируется в 2015 году).

Всего за время набора статистики (2010-2012 год) коллаборацией АТЛАС при участии группы ИЯФ опубликовано 227 работ, из них 128 в 2012 году.

Также ведется большая работа по поддержке и развитию компьютерной инфраструктуры и программного обеспечения. Благодаря 10-гигабитному каналу связи физики ИЯФ могут вести вычисления в компьютерных центрах НГУ и СО РАН (используется технология виртуализации на основе платформы KVM).

С 2007 года специалисты ИЯФ 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), 50 серверов поддержки пультовой детектора АТЛАС, а также многие другие компоненты ИТ инфраструктуры эксперимента.

Важную роль играют работы по поддержке и администрированию центральных компьютеров АТЛАСа, находящихся на территории центрального вычислительного комплекса ЦЕРНа (их около 300). Они обеспечивают бесперебойную работу критических сервисов – многочисленных компонент системы рас-

пределенных вычислений, баз данных, электронного журнала детектора, монитора качества данных, дисплея событий и других.

Начиная с 2008 года, программисты ИЯФ внесли и продолжают вносить весомый вклад в создание и развитие важнейших сервисов и утилит для управления системой распределенных вычислений (АТЛАС GRID): Мониторинг Реплицирования Данных (Data Replication Monitoring) и Информационной Системы (АТЛАС GRID Information System - AGIS).

В настоящее время разрабатывается проект модернизации коллайдера ЛHC 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 принимает участие в эксперименте по исследованию работоспособности жидкоаргоновых калориметров АТЛАСа при высоких нагрузках. В апреле 2012 года на ускорителе У-70 в Протвино был проведен очередной сеанс набора данных с новой электроникой, значительно лучше адаптированной к работе при высоких нагрузках. Для этого захода в ИЯФ была изготовлена новая камера вторичной эмиссии для более точного измерения профиля протонного пучка вблизи мини-модулей калориметров. Специальная электроника, разработанная в ИЯФ, позволила проводить несколько (~10) измерений положения пучка за время сброса (длительность около 1,5 с). В результате было замечено существенное движение пучка за время сброса (до 18 мм в горизонтальном направлении при размере пучка 15 мм). Была внесена поправка, позволившая заметно снизить систематическую ошибку в определении интеграла интенсивности пучка.

1.12. ЭКСПЕРИМЕНТ LHCb

1.12.1. Техническое обеспечение работы детектора LHCb

Поток данных с детектора LHCb, который записывается для последующего сохранения и обработки, состоит из событий размером около 50 кБ, проходящих через триггер высокого уровня (HLT2) с частотой около 4 кГц. Таким образом, поток данных, который необходимо сохранить, составляет около 200 МБ/с или 2000-3000 ТБ за год работы. Этот объем слишком велик для обработки в каждом конкретном анализе. Вместо этого в эксперименте LHCb применяется централизованный предварительный оффлайн-отбор событий (так называемый «стриппинг»). Из всего объема данных выделяется около 10% событий, которые затем записываются в несколько (5-8) потоков. Таким образом, каждый поток содержит значительно меньшее количество однотипных событий (например, в один поток могут группироваться все каналы с мюонами в конечном состоянии или события из распадов D-мезонов), которые можно реально обработать за относительно небольшое время в системе GRID. Кроме того, данные после «стриппинга» уже содержат в себе информацию о частицах-кандидатах и их комбинации, что значительно уменьшает время обработки и получения физического результата. Недостатком такого подхода является то, что процедуру предварительного отбора необходимо иметь уже на этапе набора данных. Частично эта проблема решается наличием инклюзивных отборов (таких как, например, мюон с большим поперечным импульсом, «топологические» отборы и т. д.).

Члены группы института отвечают за разработку и поддержку программной среды, которая осуществляет предварительный отбор событий («стриппинг») по описанию критериев отбора, заданному разработчиками физического анализа. Среда для «стриппинга» позволяет одновременно работать нескольким сотням процессов отбора физических событий, направляет их для записи в несколько потоков данных, содержит модули для отладки критериев отбора и мониторингирования результатов работы. Кроме того, группа ИЯФ участвует в поддержке предварительного отбора для анализов по измерению угла γ из древесных распадов B-мезонов. Эти отборы включают в себя каналы распада b -мезонов и b -барионов в состояния с открытым чармом.

Команда сотрудников института также задействована непосредственно в обеспечении функционирования эксперимента, принимая участие в экспериментальных сменах в качестве начальника смены и экспертов, отвечающих за качество собираемых данных.

1.12.2. Физические результаты

Программа исследований группы сотрудников института в эксперименте LHCb нацелена на наблюдение эффектов, находящихся за пределами Стандартной Модели электрослабых взаимодействий. Частной задачей в рамках этого общего проекта является прецизионное измерение величин, чувствительных к CP-нарушению — таких как угол γ треугольника унитарности и параметров смешивания D-мезонов. Отдельной задачей является спектроскопия тяжелых адронов.

В настоящее время для анализа на LHCb доступен объем данных с интегральной светимостью 1 fb^{-1} , набранный в 2011 году. Соответствующее этой интегральной светимости количество зарегистрированных распадов B-мезонов в основных каналах превышает статистику, набранную в экспериментах на коллайдере Tevatron, а для многих каналов распада превышает статистику B-мезонов, набранную на электрон-позитронных B-фабриках.

CP-нарушение

CP-нарушение отвечает за асимметрию материи и антиматерии во Вселенной. В рамках Стандартной Модели CP-нарушение описывается матрицей Кабиббо-Кобаяши-Маскава (Cabibbo-Cobayashi-Maskawa, CKM), которая характеризует переходы между различными поколениями кварков за счет слабого взаимодействия. Одним из представлений матрицы CKM является так называемый Унитарный Треугольник (УТ). Различные процессы чувствительны к длинам сторон и величинам углов этого треугольника. Эффекты, выходящие за рамки Стандартной Модели, проявляются в рассогласовании сумм углов треугольника от 180 градусов). Таким образом, прецизионные измерения параметров УТ дополняют прямые поиски эффектов Новой Физики на высоких энергиях на таких установках как ATLAS или CMS.

Многие CP-нарушающие процессы, наиболее чувствительные к параметрам УТ, наблюдаются в распадах B-мезонов. На данный момент только один из углов УТ (чаще всего называемый β) измерен с точностью около 1 градуса экспериментами Belle и BaBar. LHCb сможет значительно уточнить многие другие параметры CP-нарушения. В частности, угол γ может быть измерен с точностью до нескольких градусов.

В 2012 году экспериментом LHCb получено несколько результатов, относящихся к измерению угла γ , в которых принимали участие сотрудники института. В первую очередь, это традиционный анализ распада $B \rightarrow DK$, где D реконструируется в двухчастичном состоянии $D \rightarrow K\pi$, KK или $\pi\pi$ (так называемые GLW и ADS-методы измерения γ). В этом распаде измерены параметры зарядовой асимметрии и величина подавленного канала $D \rightarrow K\pi$. Впервые наблюдалось CP-

нарушение в распадах $B \rightarrow DK$, $D \rightarrow hh$ со значимостью более 5 стандартных отклонений.

Другой способ измерения γ использует процесс $B \rightarrow DK$, где D распадается в трехчастичное состояние $K_s \pi^+ \pi^-$ или $K_s K^+ K^-$. В соответствующем анализе LHCb была применена модельно-независимая модификация этого метода, в которой теоретическая неопределенность, связанная с амплитудой распада D , полностью исключена с использованием данных эксперимента CLEO на пороге рождения DD -пар. Этот метод был разработан и впервые применен в анализе данных эксперимента Belle, а теперь и в LHCb при значительном участии группы ИЯФ. Ограничения на угол γ из анализов $D \rightarrow hh$ и $D \rightarrow K_s hh$ на LHCb приведены на Рис. 1.12.1. Комбинация всех измерений в распадах $B \rightarrow DK$ дает $\gamma = (71^{+17}_{-16})^\circ$ (см. Рис. 1.12.2), что уже сравнимо по точности с окончательными результатами экспериментов на B -фабриках.

Еще одним примером процесса, который потенциально имеет чувствительность к углу γ , является недавно обнаруженный на LHCb процесс $B_s \rightarrow D^0 K^+ K^-$.

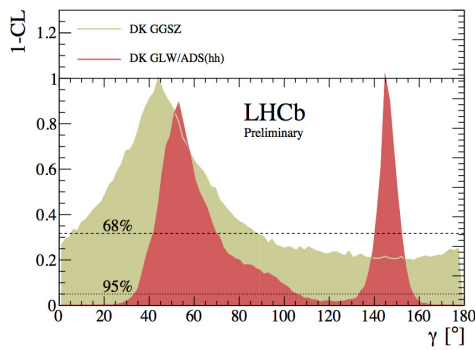


Рис. 1.12.1. Результаты измерения угла γ в распадах $B \rightarrow DK$ с $D \rightarrow hh$ (ADS, GLW) и $D \rightarrow K_s hh$ (GGSZ).

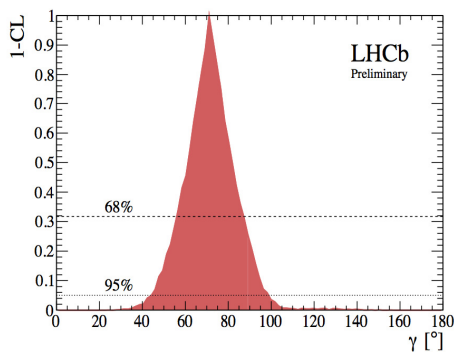


Рис. 1.12.2. Результаты измерения γ на LHCb (комбинация всех измерений в процессе $B \rightarrow DK$).

Спектроскопия тяжелых адронов

LHCb на сегодняшний день предоставляет возможность изучения большого количества распадов Λ_b -барионов, которые можно использовать для исследо-

вания спектроскопии тяжелых барионов, содержащих b -кварк. Сотрудниками института был выполнен анализ спектра $\Lambda_b \pi^+ \pi^-$, в котором были открыты два возбужденных состояния Λ_b -бариона, $\Lambda_b^*(5912)$ и $\Lambda_b^*(5920)$. Кварковая модель предсказывает, что эти состояния являются радиальными возбуждениями Λ_b со спином 1/2 и 3/2, соответственно. Значимость наблюдения новых состояний составляет 5,2 и 10,2 стандартных отклонения для $\Lambda_b^*(5912)$ и $\Lambda_b^*(5920)$, соответственно. Измерены массы открытых частиц: $M[\Lambda_b^*(5912)] = 5911,97 \pm 0,12(\text{стат.}) \pm 0,02(\text{сист.}) \pm 0,66(\text{масса } \Lambda_b) \text{ MeV}/c^2$, $M[\Lambda_b^*(5920)] = 5919,77 \pm 0,08(\text{стат.}) \pm 0,02(\text{сист.}) \pm 0,66(\text{масса } \Lambda_b) \text{ MeV}/c^2$.

1.12.3. Обзор результатов LHCb и план модернизации

В 2012 году коллаборацией LHCb с участием теоретиков был опубликован обзор результатов LHCb по исследованию редких распадов мезонов и CP-нарушения в системе B - и D -мезонов. Кроме обсуждения наиболее значимых результатов LHCb и их теоретической интерпретации, в данном обзоре приведены планы по модернизации детектора, которая намечена на 2018 год, и ожидаемые физические результаты.

1.12.4. Моделирование радиационных условий в районе детектора

Работы проводились по трем направлениям:

1. Перенос существующего моделирования в среде FLUKA с локальной машины на вычислительную систему GRID, используя фреймворк GANGA (далее просто ФЛЮКА, ГРИД и ГАНГА).
2. Визуализация результатов моделирования специальным веб-приложением.
3. Создание документации.

Перенос моделирования в системе ФЛЮКА на ГРИД

На основе существующих скриптов были разработаны новые, адаптированные для конкретного моделирования (добавлены карты магнитного поля), улучшено удобство использования.

В прежней системе для выполнения моделирования на ГРИДе исходный файл ФЛЮКИ необходимо было разрезать на две части: первая часть должна была содержать геометрию, задание материалов, скоринг, а вторая часть файла всего лишь содержала команду на старт моделирования. На целевом узле ГРИДа эти две части склеивались в одну, между ними вставлялась директива с указанием рандом сиду.

Естественно, такое использование было не особо удобно, каждую итерацию надо было подготавливать

файл таким специальным образом. В новой системе файл не нужно разрезать. Сразу после теста на локальной машине исходный файл ФЛЮКИ можно отправлять на ГРИД. Достигается это использованием юниксовой утилиты SED (stream editor), которая позволяет инплэйс редактирование файлов. Команде SED передается специальное регулярное выражение, в котором задан поиск команды RANDOMIZE и замену найденной строки на новую с уникальным для каждого узла грида рандом сидом.

Также в старой системе рандом сиды были частью последовательности (за рандом сид брался номер задания в системе ГАНГА). Это вызывало опасения, что последовательности случайных чисел могут пересекаться и эффективность моделирования снижается.

В новой системе рандом сиды берутся из файла, что позволяет лучше настроить поведение, убрать возможное пересечение последовательностей случайных чисел. Если же файл сидов отсутствует, происходит откат к предыдущей схеме.

Также обновлен дистрибутив ФЛЮКИ, используемый на ГРИДе, до новой версии (особенность ФЛЮКИ в том, что старые версии отключаются через несколько лет).

Таблица 1.12.1. Тестовые заходы на гриде.

Полное число отправленных заданий	Продолжительность одного задания (часов)	Количество провалившихся заданий	Количество зависших заданий к моменту завершения первого задания	Процент невыполненных заданий
20	3	0	1	0 %
40	80	23	23	58 %
80	48	1	3	1 %

В результате пробных заходов моделирования на гриде (см. Таблицу 1.12.1) стало ясно, что постановка заданий, выполнение которых занимает более двух дней, значительно увеличивает риск полной потери задания. Постановка заданий длительностью менее 48 часов дает в результате слишком большой объем выходных данных, и есть риск превысить квоту системы хранения DIRAC. Большой объем выходных данных также сложнее суммировать. Каждое задание генерирует 150 Мб несжатых данных, на узле пакет результатов сжимается до более приемлемых 30 Мб. Каждый файл представляет из себя файл с текстом и числами. Для вычисления среднего по всем файлам был разработан специальный скрипт, который вычисляет среднее чисел, а текст не изменяет. Выходной файл имеет такой же формат, как и исходные файлы до усреднения.

Визуализация результатов

Хотя инструменты визуализации и анализа результатов уже были готовы, подготовка, сборка и настройка этих инструментов представляет сложность для рядового пользователя. В итоге было решено, что веб-приложение на специальной веб-странице есть наиболее простой способ предоставить пользователям результаты моделирования, не требующие каких-либо специальных навыков или особой настройки.

При разработке веб-страницы визуализации результатов моделирования использовались библиотеки BOOST (www.boost.org), фреймворк ROOT (root.cern.ch) и веб-фреймворк WT (www.webtoolkit.eu). ROOT использовался для анализа данных, загрузки их из файла и генерации рисунков для веб-страницы. Из библиотеки BOOST использовались различные сервисные функции по работе с файловой системой, шаблоны умных указателей, BOOST_FOREACH и др.

Отдельного упоминания заслуживает фреймворк WT. Этот фреймворк позволяет писать веб-приложения на языке C++ с использованием парадигмы сигнал-слот и набора веб-виджетов, аналогично тому, как это производится в фреймворке QT. Всю работу по генерации валидного HTML и Javascript-кода страницы, показываемой пользователю, берет на себя фреймворк WT. Результирующий исполняемый модуль может содержать простой встроенный веб-сервер или включаться в популярные веб-сервера (Apache, Lighttpd) через интерфейс FastCGI (схема, используемая в данном проекте).

По схеме включения через FastCGI разрешается работать в двух режимах: shared (на каждую сессию заводится новый поток) и dedicated (на каждую сессию создается отдельный процесс). Естественно, схема shared дает большую производительность, высокую скорость реакции на новое соединение, а схема dedicated дает высокую надежность. Так как каждая сессия выполняется в отдельном процессе, она изолирована от других, падение одной сессии не вызывает падения всех остальных на этой машине, как это происходит в схеме shared.

Исходные данные для страницы представляют трехмерные гистограммы (ROOT TH3), загружаемые из рутовых файлов.

Техническое задание включало:

- Сечение гистограммы по одной из осей XYZ в заданной точке и визуализация полученной двумерной гистограммы в режиме цветовой шкалы.
- Наложение схематического изображения геометрии детектора в данном сечении («Overlap schematics»).
- Расчет минимального, максимального, среднего значения в выбранной области.
- Функция сохранения пропорций изображения («Keep aspect ratio»).

- Возможность задать множитель («Number of collisions»).
- Каталог гистограмм и возможность выбора из него («Choose map»).

Результат выполнения задания показан на Рис. 1.12.3. Кроме требований технического задания также реализованы несколько полезных функций:

- Щелчок мышкой на произвольный бин визуализированной гистограммы показывает небольшое сообщение о значении выбранного бина.
- Можно увеличить какой-то район заданием его границ в числовой форме, а можно просто выделить мышкой его на рисунке и в появившемся контекстном меню выбрать команду «zoom».
- Возможно поменять оси местами («Invert axes»).
- Панель статистики может показывать минимальное, среднее, максимальное значение по двумерному сечению («2D-plane»), а также по выделенному объему («3D-box»).
- При включении наложения схематического изображения поверх гистограммы выбирается самое близкое к заданной точке доступное сечение из библиотеки картинок, однако можно вручную задать налагаемую поверх картинку.

На отдельной рабочей станции ЦЕРНа был сконфигурирован веб-сервер, и прототип системы был запущен для финального тестирования и сбора требований для следующей версии, которая и станет массовой. В качестве бонусного задания была реализована отдельная версия веб-приложения для визуализации карт доз радиации старого формата.

Фактически, возможно использование веб-приложения для визуализации других двумерных и трехмерных гистограмм, не привязанных к данному эксперименту и моделированию.

Создание документации

Все исходные коды веб-приложения и скриптов моделирования на ГРИДе выложены в систему контроля версий, доступную всему персоналу ЦЕРН («<https://afs.cern.ch/lhcb/software/GIT/curie.git/>»).

В базе знаний twiki.cern.ch заведены две страницы с описанием правил использования скриптов для моделирования ФЛЮКИ на ГРИДе:

«<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LHCb/LHCbFlukaGanga>»,

а также описание сборки, настройки веб-приложения визуализации результатов моделирования:

«<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LHCb/LHCbFlukaResults>».

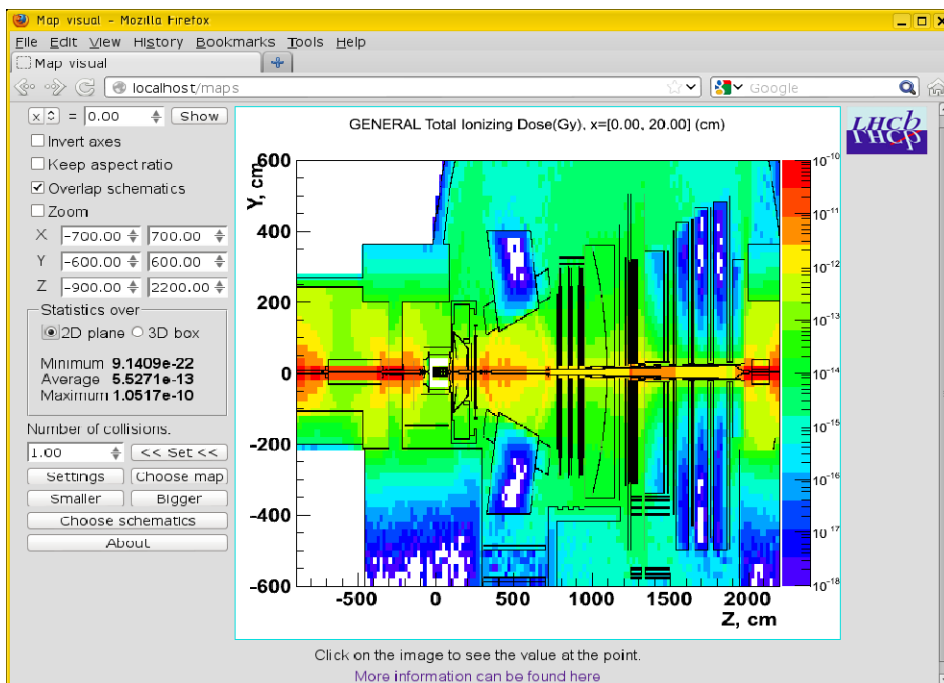


Рис. 1.12.3: Вид веб-приложения в работе.

2

**ЭЛЕКТРО -
И ФОТОЯДЕРНАЯ
ФИЗИКА**

2.1. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ВНУТРЕННИМИ МИШЕНЯМИ

I. С начала 2012 года был продолжен эксперимент по новому измерению R - отношению 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 общепринятых 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 и систематическая точность измерений, либо углы рассеяния электронов/позитронов были малы (при этом вклад ДФО должен быть очень мал).

В 2009 году в ИЯФ, 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.

Для расширения кинематической области измерений было предложено провести набор данных при более низких энергиях электронов/позитронов с одновременным увеличением угла рассеяния частиц.

Значение R в этом случае ожидалось примерно такое же, как и в эксперименте 2009 года, однако, статистическая точность нового измерения должна была значительно вырасти.

Набор статистики в новой кинематической области - при энергии пучков 1 ГэВ и углах рассеяния позитронов/электронов 67-105 градусов начался в конце сентября 2011 года и завершился в марте 2012 года. На Рис.2.1.1 отражен ход набора данных во времени. Интеграл тока пучков электронов/позитронов ВЭПП-3 достиг почти 100 кКл, а интеграл светимости 600 ПБ⁻¹.

В Таблице 2.1.1 показаны основные этапы экспериментов по измерению R на ВЭПП-3, а на Рис.2.1.2 приведены их предварительные результаты. На рисунке показаны также известные мировые данные и результаты некоторых теоретических расчетов.

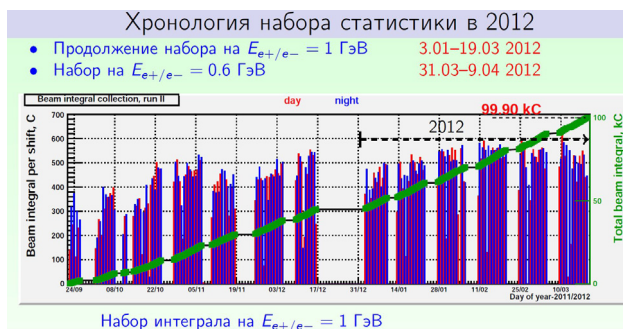


Рис. 2.1.1. Интегралы тока пучков за смену (гистограмма) и суммарный интеграл тока пучков в зависимости от времени (сплошная линия).

Затем был начат набор статистики при энергии пучков 0,6 ГэВ.

Таблица 2.1.1. Этапы эксперимента по измерению R на ВЭПП-3.

Milestones of the Novosibirsk experiment

- The proposal was published (Aug 2004): [nucl-ex/0408020](#)

Two-photon exchange and elastic scattering of electrons/positrons on the proton. (Proposal for an experiment at VEPP-3). J. Arrington, V.F. Dmitriev, K. Hall, D.M. Nikoloski, I.A. Rachev, Yu.V. Shestakov, V.N. Sizunov, D.K. Toporkov, H. de Vries. Aug 2004. 13 pp. e-Print: [nucl-ex/0408020](#) (nucl-ex) 0307

[References](#) | [Bibtex](#) | [LaTeX](#) | [LaTeX](#) | [HTML](#) | [EndNote](#)

Detailed record - Cited by 45 records

- Data taking:

Run	Duration	E_{beam} , GeV	Number of e^+e^- cycles	\int luminosity, pb ⁻¹
Engineering run	May-Jul 2007	1.6	90	12
Run I	Sep-Dec 2009	1.6	1100	324
Run II	Sep 2011 - Mar 2012	1.0	2350	600
Run III	Apr 2012	0.6	220	18

- Some preliminary results were published (Dec 2011): [arXiv:1112.5369](#)

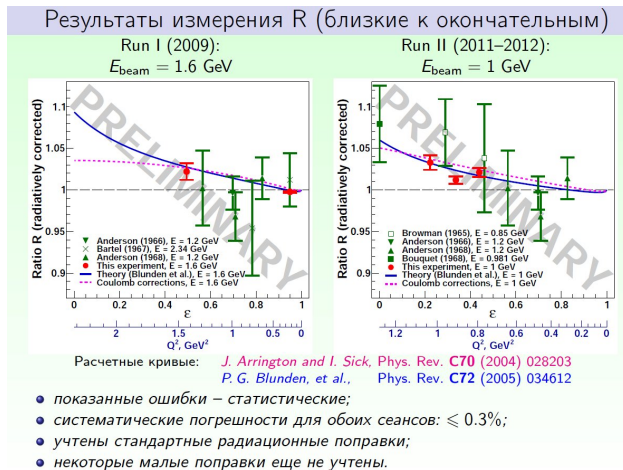


Рис.2.1.2. Предварительные результаты экспериментов по измерению R на ВЭПП-3 (красные кружки), известные мировые данные (зеленые квадраты, треугольники или кресты) и результаты некоторых теоретических расчетов (кривые).

Отметим, что наши результаты по точности намного превышают известные мировые данные; вклад ДФО в упругое (e_p)-рассеяние, который определяется по результатам экспериментов, достаточно велик; расчеты P.G. Blunden, et al, 2005 (которые в настоя-

щее время признаются как наиболее корректные) согласуются с нашими данными. В результате, известное противоречие в измерениях формфакторов протона различными методиками, возможно, будет устранено, так как учет вклада ДФО по упомянутому расчету во многом снимает эти противоречия.

Завершить анализ данных планируется в 2013 году.

Отметим также, что в мире уже проведены два подобных эксперимента. Это измерения на детекторе CLAS, TJNAF, США, и на накопительном кольце DORIS, Германия, коллаборацией OLYMPUS. Сведений о результатах этих экспериментов пока не поступало.

II. Во время летней остановки ускорительного комплекса был проведен демонтаж детектора и мишени эксперимента по измерению R и начата установка аппаратуры для изучения реакции когерентного фоторождения нейтрального пиона на тензорно-поляризованном дейтроне (Рис. 2.1.4).

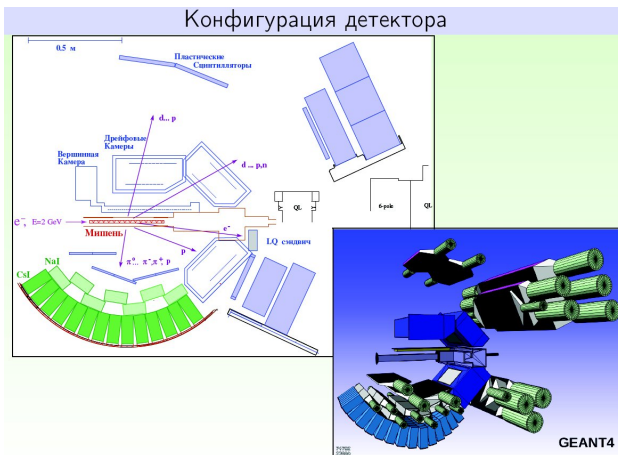


Рис. 2.1.4. Схема детектора эксперимента по изучению реакции когерентного фоторождения нейтрального пиона на тензорно-поляризованном дейтроне на ВЭПП-3.

Этот процесс является одним из важных процессов в ядерной физике, он даёт ценную информацию о структуре пион-нуклонного и нуклон-нуклонного взаимодействия.

В то время как теоретические исследования этой реакции, с предсказаниями по дифференциальным сечениям и по различным поляризационным наблюдаемым, проводятся давно и с применением разнообразных подходов к описанию процесса, подробные экспериментальные данные по поперечным сечениям появились лишь в последние годы.

Из поляризационных наблюдаемых здесь есть несколько измерений Σ -асимметрии. Данные по T_{21} (тензорной анализирующей способности реакции) вообще отсутствовали до появления наших данных (Письма ЖЭТФ, 89 (2009) 518).

В предстоящем эксперименте планируется значительно улучшить точность измерений по сравнению с

предыдущими данными, в результате появится реальная возможность оценки правильности теоретических предсказаний (Рис. 2.1.5).

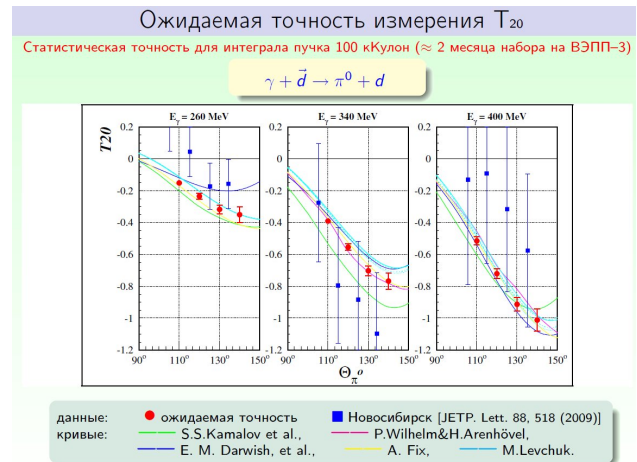


Рис. 2.1.5. Ожидаемая точность измерений тензорной анализирующей способности T_{20} реакции когерентного фоторождения нейтрального пиона на дейтроне (красные кружки), результаты предыдущих измерений (синие квадраты) и некоторые теоретические предсказания (кривые).

III. 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.

К настоящему выполнены все заказы первой очереди. Успешно испытан первый вариант детектора СМФ на основе ГЭУ а также электроники к нему. Планируется подготовить СМФ для первого испытания на ВЭПП-3 и провести это испытание осенью 2013 года.

Начаты работы по созданию детекторов эксперимента по фотодезинтеграции дейтрона с использованием СМФ при энергиях фотона до 1,5 ГэВ.

IV. В промежутках между экспериментами проводились работы по совершенствованию мишени. Так, для этих целей создан стенд для изучения эффектов, снижающих поляризацию мишени, и поиска способов их подавления.

Было предложено изменить процедуру нанесения покрытия, предохраняющего атомы от деполяризации, на ячейку. Был изготовлен стенд для фиксации (прогрева под вакуумом) покрытия накопительной ячейки. Он выполнен цельнометаллическим (с металлическими уплотнениями) с целью исключения загрязнения газовой средой из резиновых уплотнений. Откачка объема осуществляется магни-

торазрядным насосом с азотной ловушкой. Как показали измерения, доля рекомбинировавших на поверхности ячейки атомов с таким покрытием (в ячейке атом в среднем испытывает около 200 столкновений со стенками) составила 0,29 – 0,08, что весьма близко к известным данным.

Модернизация источника поляризованных атомов дейтерия состояла в добавлении ступени промежуточной откачки между скиммером и стенкой сверхпроводящего секступольного магнита, имеющего температуру 4,2 К и поэтому являющимся крионасосом. В качестве насоса применен турбомолекулярный насос ТМН-1500. Создание этой системы позволило произвести исследование интересного и малоизученного явления формирования режима свободномолекулярного течения из переходного режима течения газа (режима между течением сплошной среды и свободномолекулярным). Влияние же дополнительной откачки на увеличение интенсивности атомарной струи из источника поляризованных атомов (ИПА) было малоэффективным.

Было проведено измерение паразитного потока молекул из ИПА в накопительную ячейку, уменьшающего поляризацию мишени. Он оказался достаточно малым - не более 3% от интенсивности сфокусированного атомного пучка.

В настоящее время становится общепризнанным, что интенсивность ИПА ограничена величиной $\sim 10^{17}$ атомов/сек, 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 имеющийся ИПА со сверхпроводящими секступольными магнитами с величиной магнитного поля около 4 Т.

Эксперименты с внутренними мишенями проводятся в сотрудничестве с группами из Томска, С.-Петербурга, NIKHEF (Нидерланды), ANL (США).

3

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ

ФИЗИКА

3.1. *CP* НЕСОХРАНЕНИЕ

Разность вероятностей радиационных переходов в атомах и антиатомах.

А.Д. Долгов, А.С. Руденко, И.Б. Хриплович
Письма в ЖЭТФ 96, N7, 467-469 (2012)

Показано, что нарушение *CP* приводит к различию парциальных вероятностей радиационных переходов в атомах и антиатомах. Оценена величина эффекта.

3.2. ГРАВИТАЦИЯ

Гравитационное четырёх-фермионное взаимодействие на планковских масштабах.

И.Б. Хриплович
Phys. Lett. B 709, Iss. 3, 111-113 (2012)

Гравитационное четырёх-фермионное взаимодействие порождается кручением и становится существенным на планковских масштабах. На этих масштабах доминирует аксиал-аксиальная часть обсуждаемого взаимодействия. Исследованы тензор энергии-импульса, порождаемый аксиал-аксиальным вкладом, а также устойчивость задачи по отношению к сжатию. След этого тензора энергии-импульса может быть отрицательным.

Космологические ограничения на гравитационное четырёх-фермионное взаимодействие.

А.С. Руденко, И.Б. Хриплович
JCAP11 (2012) 040

Если кручение существует, то оно порождает гравитационное четырёх-фермионное взаимодействие. Это взаимодействие доминирует на планковских масштабах. Если учитывать только обычную, аксиал-аксиальную часть этого взаимодействия, то результаты не согласуются с космологией Фридмана-Робертсона-Уокера (FRW) для пространственно плоской или замкнутой Вселенной. Однако, учёт аномальной, вектор-векторной части взаимодействия мог бы восстановить согласие с FRW.

3.3. КВАНТОВАЯ ХРОМОДИНАМИКА

Проверка условия реджезации глюона в следующем за главным порядке. Глюонная часть.

М. Г. Козлов, А. В. Резниченко, В. С. Фадин
Ядерная физика том 75, N4, С. 529-542, 2012 год

Рассматривается последнее условие бутстрапа, справедливость выполнения которого не проверена до настоящего времени. Это условие является необходимым элементом в построенном на основе

соотношения унитарности доказательстве мультиреджевской формы амплитуд КХД с глюонным обменом при высоких энергиях в следующем за главным логарифмическим приближении. Подход основан на *s*-канальной унитарности и позволяет воспроизводить последовательно во всех порядках теории возмущений мультиреджевскую форму амплитуды, если только оказываются выполнены определенные нелинейные соотношения, называемые условиями бутстрапа. Все из них были получены, и все, кроме одного, были проверены. Нами осуществлена явная проверка выполнения последнего условия - условия бутстрапа на неупругую амплитуду рождения одного глюона в мультиреджевской кинематике. Ранее мы провели такую проверку для чисто фермионных вкладов, а здесь мы завершаем ее для глюонных однопетлевых поправок к составляющим рассматриваемого условия.

Импакт-фактор для рождения глюона в мультиреджевской кинематике в следующем за борновским приближении.

М. Г. Козлов, А. В. Резниченко, В. С. Фадин
Ядерная физика, том 75, N7, С. 905-920, 2012 год

Найдена однопетлевая поправка к импакт-фактору рождения глюона при переходе однореджеонного состояния в *t*-канале в двухреджеонное. Этот импакт-фактор является составной частью многочастичных амплитуд в мультиреджевской кинематике. Рассматриваемая поправка необходима для развития теории реджевских и мультиреджевских процессов. В частности, она необходима для доказательства мультиреджевской формы амплитуды в следующем за главным логарифмическом приближении. Также поправка позволяет завершить проверку последнего из недоказанных условий бутстрапа для реджезации глюона и доказать в этом приближении справедливость мультиреджевской формы амплитуды. Представлены все необходимые вычисления и дано явное выражение для импакт-фактора при всех возможных цветовых состояниях в *t*-канале.

Мультиреджевская форма амплитуд с глюонным обменом в суперсимметричных теориях Янга-Миллса.

М. Г. Козлов, А. В. Резниченко, В. С. Фадин
Препринт ИЯФ. 2012-32

В суперсимметричных теориях Янга-Миллса (СЯМ) в следующем за борновским порядке найдены эффективные реджевские вершины, необходимые для построения доказательства мультиреджевской формы амплитуд с глюонным

обменом в рамках бутстрапного подхода. Для произвольной размерности D найден однопетлевой вклад скаляров, пропорциональный числу скалярных полей n_s , в импакт-фактор рождения глюона в мультиреджевской кинематике в следующем за борновским порядке. Вычислены вклады скалярных частиц в собственную функцию октетного ядра БФКЛ, а также все дополнительные импакт-факторы, возникающие в СЯМ, проведена проверка выполнения всех упругих и неупругих условий бутстрапа, гарантирующая мультиреджевскую форму многочастичных амплитуд в СЯМ в приближении, следующем за главным логарифмическим.

Цвето-октетные состояния индуцированные механизмом Хиггса.

С. Бладуэлл, В.Ф. Дмитриев, В.В. Фламбаум, А. Козлов
arXiv:1212.5416.

Текущие ограничения на четвёртое поколение кварков позволяют ожидать их массы в районе 500 ГэВ и выше. В этой области масс для кварк-антикварковой пары существует дополнительное притяжение юкавского типа из-за обмена скалярным бозоном Хиггса. Это, индуцированное Хиггсом, притяжение заметно превосходит сильное взаимодействие между кварками и ведёт к появлению связанных состояний как в цвето-синглетном $S(1)$, так и в цвето-октетном $S(8)$ состояниях. В свете недавних работ о важности октетного канала для рождения синглетного состояния четвёртого поколения $q\bar{q}$, мы вычислили энергии связи синглетных и октетных состояний. Притяжение локализует кварки на очень малых масштабах, так что пара кварков 4-го поколения формирует "ядро", вместе с нейтрализующими цвет лёгкими кварками удерживаемыми сильным взаимодействием на больших расстояниях, порождает частицу по структуре похожей на атом дейтерия.

Распады связанных состояний четвёртого поколения.

В. Ф. Дмитриев, В.В. Фламбаум
International Journal of Modern Physics A Vol. 27
(2012) 1250179.

Мы рассматриваем моды распада тяжёлых $q'\bar{q}'$ связанных состояний возникающих из-за обмена бозоном Хиггса между кварком и антикварком. В случае малого смешивания между 4-м и предыдущими поколениями основным каналом распада является $q'\bar{q}'$ аннигиляция. Мы показали, что для векторных состояний доминирующими модами являются Хиггс - гамма и Хиггс - Z-бозон распады,

в то время как для псевдоскалярных состояний доминирующим является распад на 2 глюона. Связанные состояния достаточно узкие. Отношение полной ширины к энергии связи не превышает 1%, если масса кварка не слишком близка к критической, где энергия связи обращается в ноль. Обсуждаемые моды распада существуют для связанных состояний любых фермионов - антифермионов, включая тяжёлые лептоны и тяжёлые нейтрино, если их масса достаточно велика чтобы образовать связанное состояние в притягивающем потенциале обмена бозоном Хиггса.

Уравнение эволюции для трехкварковой вильсоновской петли.

Р. Е. Герасимов, А. В. Грабовский.
arXiv:1212.1681 [hep-th]

В главном логарифмическом приближении в рамках высокоэнергетического операторного разложения Я. Балицкого выведено уравнение эволюции для оператора в виде трехкварковой вильсоновской петли.

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.

В следующем за главным порядке вычисляются собственные значения ядра БФКЛ для присоединенного представления калибровочной группы $SU(N_c)$ в $N=4$ суперсимметричной модели Янга-Миллса. Эти собственные значения используются для получения высоко-энергетической асимптотики остаточной функции для 6-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 .

Исследуется связь между полным представлением калибровочно-инвариантных операторов и их мёби-

усовским 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 квазиконформному ядру найдены как в полном, так и в мёбиусовском представлении.

Разница между стандартным и квазиконформным ядром БФКЛ
В.С. Фадин, Р. Фиоре, А. Папа
Nucl. Phys. B 865 (2012) 67-82.

Как было недавно показано, синглетное ядро БФКЛ в мёбиусовском представлении может быть записано в квазиконформном виде в пространстве прицельных параметров. Этот вид несравненно проще, чем стандартный вид полного ядра в импульсном пространстве. Было также доказано, что полное ядро полностью определяется его мёбиусовским представлением. В этой работе вычислена разность между квазиконформным и полным ядрами БФКЛ в СГП в импульсном представлении. Полученная разность оказалась очень простой. Это позволяет сделать вывод, что простота квазиконформного ядра в основном обусловлена тем, что оно действует в пространстве прицельных параметров.

Поправки следующего за главным порядком к ядру уравнения БКП

И. Бартелс, В.С. Фадин, Л.Н. Липатов, Д.П. Вакка

arXiv:1210.0797 [hep-ph]; будет опубликовано в Nucl. Phys. B 867 (2013) 827-854.

Вычислено ядро уравнения Бартелса-Квичинского-Прашаловича в СГП для КХД и суперсимметричной теории Янга-Миллса (СЯМ) с $N=4$ в оддеронном канале. В этом порядке ядро БКП содержит ядро БФКЛ для присоединенного представления цветовой группы в СГП и связанное ядро 3 в 3 в древесном приближении.

Новый инструмент для приведения петлевых интегралов.

Р.Н. Ли
arXiv: 1212.2685

Описывается пакет LiteRed для системы Mathematica. Пакет выполняет эвристический поиск правил приведения для петлевых интегралов, полученных с помощью интегрирования по частям. Пакет содержит несколько других удобных инструментов для поиска соотношений симметрии, построения дифференциальных уравнений и разностных рекуррентных соотношений.

Метод DRA: мощный инструмент для вычисления петлевых интегралов
Р.Н. Ли
Journal of Physics: Conference Series 368 (2012) 012050

Мы обсуждаем метод вычисления многопетлевых интегралов, основанный на использовании рекуррентных соотношений и аналитический свойств интегралов, как функций размерности пространства-времени.

Мастер-интегралы для четырехпетлевых безмассовых пропагаторов до трансцендентного веса 12.
Р.Н. Ли, А.В. Смирнов и В.А. 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 трансцендентного веса 12, используя недавно разработанный одним из соавторов (Р.Л.) метод и, таким образом, улучшая результаты Байкова и Четыркина полученные до веса 7. Мы наблюдаем появление только кратных дзета-функций. Таким образом, мы приходим к заключению, что все четырехпетлевые безмассовые пропагаторы, с любыми целыми степенями числителей и знаменателей содержат только кратные дзета-функции в своем ϵ -разложении, по крайней мере, до веса 12.

Метод DRA для многокомпонентных мастер-интегралов: использование унитарных разрезов для построения однородных решений
Р.Н. Ли и В.А. Смирнов
JHEP 1212 (2012) 104
arXiv: 1209.0339

Мы рассматриваем применение метода DRA в случае нескольких мастер-интегралов в данном секторе. Мы устанавливаем связь между однородной частью размерностного рекуррентного соотношения и максимальным унитарным разрезом соответствующих интегралов: максимально разрезанный интеграл оказывается решением однородной части размерностного рекуррентного соотношения. Это наблюдение позволяет нам сделать необходимый шаг метода DRA: построение общего решения однородного уравнения, которое в изучаемом случае является системой разностных уравнений.

Зависящая от спина часть сечения взаимодействия $\bar{p}d$ и Ниджмингенский потенциал
С. Г. Сальников
Nuclear Physics A 874 (2012)98-107.

Рассмотрено $\bar{p}d$ взаимодействие при низких энергиях с учётом поляризации обеих частиц. Соответствующие сечения получены с использованием неймегенского нуклон-антинуклонного оптического потенциала с учётом перерасеяния. Эффекты, связанные с перерасеянием, вычислялись в рамках глауберовского подхода и оказались около $10 \div 20\%$. Полученные сечения применяются к анализу процесса поляризации при взаимодействии пучка антипротонов с поляризованной дейтронной мишенью. Показано, что при реалистичных параметрах накопителя и мишени механизм спиновой фильтрации может дать заметную поляризацию за время, сравнимое с временем жизни пучка. Зависимости скорости поляризации от энергии для случаев дейтронной и водородной мишеней похожи, а время поляризации для дейтронной мишени гораздо меньше, чем для водородной.

Безмассовые двухпетлевые собственно-энергетические диаграммы:
Исторический обзор
А.Г.Грозин,
Int. J. Mod. Phys. A 27 (2012) 1230018 (22 стр.)
[arXiv:1206.2572v3 [hep-ph]]

Этот класс диаграмм имеет многочисленные применения. Для него было получено много интересных результатов.

Одновременное отщепление b и c кварков
А.Г.Грозин, М.Нёсчеле, Ж.Хофф, М.Штайнхаузер,
Proceedings of Science (LL2012) 032 (10 стр.)
(<http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=151>) [arXiv:1205.6001 [hep-ph]]

Параметры и лёгкие поля лагранжиана КХД с двумя тяжёлыми ароматами, b и c, связаны с параметрами и полями эффективной низкоэнергетической теории без этих ароматов. Связывающие их коэффициенты вычислены с трёхпетлевой точностью с учётом точной зависимости от m_c/m_b . Рассмотрены также подобные соотношения для билинейных кварковых токов.

Отщепление тяжёлых частиц в КЭД и КХД
А.Г.Грозин,
Int. J. Mod. Phys. A (2013), в печати
[arXiv:1212.5144[hep-ph]]

Педагогическое рассмотрение отщепления тяжёлого аромата в КХД. Сначала рассматривается более простой случай: отщепление мюонов в КЭД. Все вычисления явно проведены до двух петель.

Квантовая хромодинамика
А.Г.Грозин,
arXiv:1205.1815 [hep-ph]

Предмет этих лекций — классический лагранжиан хромодинамики, его квантование в рамках теории возмущений и перенормировка. Обсуждаются симметрии классической и квантовой теории. Подробно рассмотрена зависимость константы связи α_s от масштаба перенормировки μ .

Интерфейс **TeX**macs–Reduce
А.Г.Грозин,
arXiv:1204.3020 [cs.MS]

Эта инструкция для пользователя (основанная на докладе на рабочем совещании по macs в Фаро, Португалия, 26 февраля – 2 марта 2012) описывает новый улучшенный интерфейс GNU с Reduce.

Спектр масс в SQCD и проблемы с дуальностью Сайберга. Другой сценарий
В.Л. Черняк
JETP, 114 (2012) pp. 61-79

Рассмотрена $\mathcal{N} = 1$ суперсимметричная квантовая хромодинамика (SQCD) с $SU(N_c)$ цветами и $0 < N_F < 3N_c$ ароматами легких кварков Q_i, \bar{Q}_j . Динамический сценарий, использованный для расчета спектра масс, предполагает, что кварки могут находиться лишь в двух стандартных фазах: это или фаза тяжелого кварка (H_Q), в которой имеется конфайнмент цвета, или они хигсуются (фаза Хиггса), при подходящих значениях параметров лагранжиана.

Рассчитаны спектры масс этой (прямой) теории и ее дуального варианта для кварков равных или неравных масс. Используя малые параметры ($0 < (3N_c - N_F)/N_F \ll 1$ на правом краю конформного окна, где прямая теория находится в слабой связи, или его дуальный аналог $0 < (2N_F - 3N_c)/N_F \ll 1$ на левом краю конформного окна, где в слабой связи находится дуальная теория) показано, что спектры масс прямой и дуальной теорий отличаются параметрически. Это показывает, что прямая и дуальная теории не эквивалентны.

Спектр масс в SQCD с добавочными полями. I
В.Л. Черняк
arXiv : 1205.0410 [hep-th], 2012, стр. 1-54

Рассмотрена суперсимметричная теория типа $\mathcal{N} = 1$ SQCD с $SU(N_c)$ цветами и $0 < N_F < 2N_c$ ароматами легких кварков Q_i, \bar{Q}_j , и с дополнительными N_F^2 бесцветными полями Φ_{ij} , $i, j = 1 \dots N_F$ с большим массовым параметром $\mu_\Phi \gg \Lambda_Q$. Спектры масс этой Φ -теории (и ее дуального варианта $d\Phi$ -теории) вычислены при различных значениях $\mu_\Phi/\Lambda_Q \gg 1$ в рамках динамического сценария, предполагающего (квази)спонтанное нарушение киральной симметрии. Показано, что, в соответствующих условиях, кажущиеся тяжелыми и динамически не играющими роли поля Φ "возвращаются назад" и в спектре появляются два дополнительных поколения легких Φ -частиц с малыми массами $\mu(\Phi) \ll \Lambda_Q$. Также рассмотрена X -теория, являющаяся $\mathcal{N} = 2$ SQCD с $SU(N_c)$ цветами и с $0 < N_F < 2N_c$ ароматами легких кварков, нарушенная до $\mathcal{N} = 1$ большим массовым параметром скалярного суперполя X в присоединенном представлении, $\mu_X \gg \Lambda_2$. Описана тесная связь между этими Φ и X теориями и, в частности, условия, при которых они становятся эквивалентными.

Спектр масс в SQCD с добавочными полями. II
В.Л. Черняк
arXiv : 1211.1487 [hep-th], 2012, pp. 1-27

Эта статья является продолжением 2. Рассмотрена суперсимметричная теория типа $\mathcal{N} = 1$ SQCD с $SU(N_c)$ цветами и $3N_c/2 < N_F < 2N_c$ ароматами легких кварков Q_i, \bar{Q}_j , и с дополнительными N_F^2 бесцветными полями Φ_{ij} , $i, j = 1 \dots N_F$ с большим массовым параметром $\mu_\Phi \gg \Lambda_Q$. Спектры масс этой Φ -теории (и ее дуального варианта $d\Phi$ -теории) вычислены при различных значениях $\mu_\Phi/\Lambda_Q \gg 1$ в рамках динамического сценария, предполагающего, что кварки могут находиться лишь в двух стандартных фазах: это или фаза тяжелого кварка (H_Q), в которой имеется конфайнмент цвета, или они хигсуются (Higgs phase). Показано, что на левом конце конформного окна (т.е. при $0 < (2N_F - 3N_c)/N_F \ll 1$) спектры масс прямой и дуальной теории отличаются параметрически.

Жесткие двухфотонные процессы $\gamma\gamma \rightarrow M_2 M_1$ в КХД
В.Л. Черняк

Приглашенный доклад на международное совещание в Тайпее "КХД в двухфотонных процессах", 2 - 4 октября 2012, Тайпэй, Тайвань, arXiv : 1212.1304 [hep-ph], 2012, pp. 1-19 (будет опубликовано в материалах совещания).

Дан обзор предсказаний (в вводящем твисте) КХД по сравнению с предсказаниями "handbag"-модели

для сечений рассеяния на большие углы $\gamma\gamma \rightarrow \bar{P}_2 P_1$ (P есть псевдоскалярный мезон $\pi^{\pm,0}, K^{\pm,0}, \eta$), и для $\gamma\gamma \rightarrow \bar{V}_2 V_1$ (V есть векторный мезон ρ^0, ω, ϕ). Проведено сравнение с экспериментальными результатами Belle Collaboration (будет опубликовано в трудах совещания).

3.4. КЭД

Зарядовая асимметрия в дифференциальном сечении фоторождения e^+e^- большой энергии в поле тяжелого атома

Р.Н. Ли, А.И. Мильштейн, В.М. Страховенко
Phys. Rev. A 85, 042104 (2012).

Квазиклассическая поправка к дифференциальному сечению фоторождения электрон-позитронной пары высокой энергии в электрическом поле тяжелого атома получена точно по атомному полю. Эта поправка ответственна за зарядовую асимметрию A в этом процессе. Когда поперечный импульс по крайней мере одной из родившихся частиц значительно превышает массу электрона m , зарядовая асимметрия может достигать десятков процентов. Мы также оценили вклад A_1 в зарядовую асимметрию от диаграммы комптоновского тип. Для тяжелых ядер этот вклад очень мал. Для легких ядер A_1 является заметным только когда угол между импульсами электрона и позитрона порядка m/ω (ω - энергия фотона), а поперечный импульс обеих частиц много больше m .

Угловое распределение в фоторождении e^+e^- большой энергии вблизи конца спектра при больших передачах импульса

А. Ди Пиазза, А.И. Мильштейн
Phys. Rev. A 85, 042107 (2012).

Мы рассматриваем дифференциальное сечение рождения электрон-позитронных пар фотоном большой энергии в сильном кулоновском поле вблизи конца спектра электрона или позитрона. Когда передача импульса Q значительно превышает массу электрона, сечение получено аналитически в компактной форме. Оно пропорционально $1/Q^4$. Кулоновские поправки существенно меняют сечение даже для небольших значений зарядового номера Z . В этой же кинематике получено угловое распределение для сечения рождения пар с электроном в связанном состоянии, тормозного излучения и фоторекомбинации.

Квазилокализованные состояния в модели электрон-электронного взаимодействия в графене
Р.Н. Ли, А.И. Мильштейн, И.С. Терехов
Phys. Rev. B 86, 035425 (2012).

Исследована квантово-механическая модель двух взаимодействующих электронов в графене. Рассмотрен случай нулевого полного момента пары. Мы показали, что динамика системы очень необычна. Рассмотрены стационарная и нестационарная задачи. Показано, что полный набор волновых функций с определенной энергией включает новые функции, которые ранее были пропущены. Временная эволюция волнового пакета, соответствующая задаче рассеяния, приводит к возникновению локализованных состояний на больших временах. Найден асимптотический вид этих состояний. Получена оценка времени жизни этих состояний, связанная с нарушением приближения непрерывности на масштабе размера решетки. Эта оценка дает надежду на экспериментальное наблюдение локализованных состояний.

Квазиклассический подход к процессам КЭД при высоких энергиях в сильном лазерном и атомном полях

А. Ди Пиазза, А.И. Мильштейн
Physics Letters B 717, 224 (2012).

Подход, основанный на использовании квазиклассической функции Грина, разработан для исследования процессов квантовой электродинамики при высоких энергиях в суперпозиции лазерного и атомного полей. Используя операторную технику, мы выводим Функцию Грина уравнения Дирака в поле произвольной плоской волны и локализованного потенциала. Далее мы вычисляем полное сечение фоторождения электрон-позитронных пар при высоких энергиях в атомном поле с произвольным зарядом (Процесс Бетэ-Гайтлера) в присутствии сильного лазерного поля. Показано, что лазерное поле существенно модифицирует сечение при уже существующих энергиях начального фотона и параметрах лазера. Это делает возможным в принципе наблюдение в лазерном поле при существующих технологиях эффект, являющийся аналогом эффекта Ландау-Померанчука-Мигдала для процесса Бетэ-Гайтлера.

Рождение пары поляризованным фотоном в постоянном и однородном электромагнитном поле
В.М. Катков

ЖЭТФ, 2012, том 141, вып. 2, стр. 258-266.

Полная вероятность рождения электрон-позитронной пары поляризованным фотоном в постоянном и однородном электромагнитном поле произвольной конфигурации определена с использованием мнимой части диагонализированного поляризационного оператора в этом поле. Получены приближенные выражения для этой вероятности

в четырех областях энергии фотона. В области высоких энергий вычислены поправки к стандартному квазиклассическому приближению (СКП). В области промежуточных энергий, где СКП неприменимо, вероятность процесса вычисляется с помощью метода перевала. Показано, что в области энергий фотона выше порога рождения пары в магнитном поле слабое электрическое поле устраняет корневые расходимости вероятности рождения частиц на уровнях Ландау. Для относительно небольшой энергии фотона развито низкоэнергетическое приближение. При очень низких энергиях фотона вычисленная вероятность есть вероятность поглощения мягкого фотона частицами, создаваемыми внешним полем. При низких энергиях действие электрического поля на процесс является определяющим, а влияние магнитного поля связано с его взаимодействием с магнитным моментом рождающихся частиц. Такое взаимодействие проявляется, в частности, в отличии вероятностей рождения пары полем для скалярных и спинорных частиц.

3.5. ГРАВИТАЦИЯ И АСТРОФИЗИКА

Представление первого порядка для гравитации в формулировке Фаддеева

В. М. Хацимовский

arXiv:1201.0806[gr-qc], pp. 1-9, (2012).

Мы изучаем формулировку Фаддеева гравитации, в которой метрика составлена из десяти четырехмерных векторных полей, то есть, из тетрады 4×10 . Можно говорить о новом векторном индексе, отвечающем десятимерному векторному пространству с плоской метрикой (Евклида или Минковского). Частичное использование уравнений движения сводит гравитацию Фаддеева к эйнштейновской. Мы предлагаем для гравитации Фаддеева аналог представления обычной эйнштейновской гравитации в терминах независимой переменной "связность". В данном случае мы вводим $SO(10)$ связность. Исключение этой связности по уравнениям движения приводит к оригинальному действию Фаддеева. Мы рассматриваем далее некоторое однопараметрическое обобщение действия Фаддеева, также сводящееся к действию Гильберта-Эйнштейна на уравнениях движения, и для этого действия предлагаем представление в терминах связности. Параметр, от которого зависит это представление — фундаментальная константа, аналог параметра Barbero-Immirzi в обычной эйнштейновской гравитации.

Некоторое свойство и применение гравитации в формулировке Фаддеева

В. М. Хацимовский

Тезисы международной конференции "Квантовая теория поля и гравитация 2012 31 июля - 4 августа 2012, Томск, Россия - Вестник ТГПУ, вып. 13(128), стр. 76-80, (2012); arXiv:1212.0978 (2012).

В формулировке Фаддеева гравитации метрика рассматривается как композитное поле, билинейное по $d = 10$ 4-векторным полям. Уникальное свойство состоит в том, что эта формулировка допускает в квантовой теории разрывные поля. На дискретном уровне, когда пространство-время разлагается на элементарные 4-тетраэды, это означает, что 4-тетраэды виртуально могут не совпадать на их общих гранях, то есть, быть независимыми. Мы применяем это к частной проблеме квантования поверхности, рассматриваемой как поверхность, составленная из виртуально независимых элементарных площадок (треугольников). Мы находим, что спектр площади пропорционален параметру Барберо-Иммирзи в гравитации Фаддеева и описывается как сумма спектров отдельных площадок. В соответствии с известным в литературе подходом, мы находим, что существует параметр Барберо-Иммирзи, гарантирующий соотношение Бекенштейна-Хоукинга для статистической энтропии чёрной дыры для произвольного d , в частности, равный 0.39... для изначального $d = 10$.

Гравитация в формулировке Фаддеева в дискретном виде

В. М. Хацимовский

arXiv:1201.0808[gr-qc], pp. 1-18, (2012).

Мы изучаем формулировку Фаддеева гравитации, в которой метрика составлена из векторных полей. Мы считаем эти поля постоянными внутри 4-тетраэдов, составляющих пространство в рамках дискретного подхода. Действие зависит не только от значений полей внутри 4-тетраэдов, но и от деталей (регуляризованного) скачка полей между 4-тетраэдами. Хотя, если поля меняются сколь угодно медленно от 4-тетраэда к 4-тетраэду, этой зависимостью можно пренебречь (она имеет следующий за главным порядок величины). Мы записываем ранее предложенное в нашей работе представление первого порядка (с помощью связности) действия Фаддеева в дискретном виде. Мы показываем, что при исключении связности оно согласуется с упомянутым выше действием Фаддеева на кусочно-постоянных полях в главном порядке величины. Таким образом, использование дискретной формы представления действия Фаддеева в терминах связности может служить способом фиксации значения действия на кусочно-постоянных полях на тетраэдрах.

О спектре площади в гравитации в формулировке Фаддеева

В. М. Хацимовский
arXiv:1206.5509[gr-qc], pp. 1-17, (2012).

Мы обсуждаем формулировку Фаддеева гравитации, в которой метрика билинейна по $d = 10$ 4-векторным полям. Уникальной чертой этой формулировки является то, что действие конечно на разрывных полях (хотя непрерывность восстанавливается на уравнениях движения). Это означает, что пространство-время в дискретном подходе разлагается на 4-тетраэдр, виртуально не совпадающие на общих гранях, то есть, независимые. Это позволяет, в частности, рассмотреть поверхность как составленную из набора виртуально независимых элементарных площадок (треугольников). Тогда спектр площади поверхности равен сумме спектров независимых элементарных площадок. Мы используем представление со связностью для действия Фаддеева на составленном из тетраэдров многообразии, ранее предложенное в нашей работе. Тензоры элементарных площадок (билинейные выражения по полям тетрады) канонически сопряжены ортогональным матрицам вращения (связности). Они квантуются так же, как угловой момент в квантовой механике, сопряжённый углу вращения. Мы находим, что спектр элементарной площадки пропорционален параметру Барbero-Иммризи в гравитации Фаддеева и похож на спектр углового момента в пространстве размерности $d - 2$. Знание этого спектра позволяет оценить статистическую энтропию чёрной дыры. Требование, чтобы эта энтропия совпадала с энтропией Бекенштейна-Хокинга, даёт уравнение, известное в литературе. Это уравнение позволяет найти параметр Барbero-Иммризи для произвольного d , в частности, число 0.39... для него для оригинального $d = 10$.

Влияет ли космологическая постоянная на гравитационное линзирование?

А.Л. Фельдман, А.А. Померанский
ЖНЕР 1207 (2012) 141

Общее решение для черного кольца в пятимерной теории Эйнштейна-Максвелла с Калуца-Клейновским дилатоном найдено методом обратной задачи рассеяния. Метрика обладает двумя независимыми параметрами углового момента, электрическим зарядом и дипольным зарядом. Решение представлено в сравнительно компактной форме, в которой его симметрии являются очевидными. Найдены условия регулярности и физические характеристики регулярного решения выражены через его параметры.

3.6. ХАОС

Кристалл Вигнера в змеевидных каналах: обзор результатов

О.В. Жиров, Д.Л. Шепелянский,
Physica B407(2012) p.1909-1911.

Изучена динамика электронного кристалла Вигнера в одномерном наноканале-ондуляторе. Показано наличие проводящей фазы (режим скольжения) при низких плотностях электронного заряда, и фазы изолятора (режим запираания), возникающего при определенных критических плотностях. Проведена параллель между данной модельной задачей и предположением Литтла о механизме электронного транспорта в органических молекулах. Установлено, что при наличии периодического потенциала внутри наноканала-ондулятора фаза скольжения (проводимости) возникает лишь внутри определенных интервалов электронной плотности, что напоминает экспериментально наблюдаемое 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 предлагаемой картины переход от фазы скольжения (КАМ) к запертой фазе Обри отвечает переходу сверхпроводник-изолятор.

Упругий фактор усиления как зонд квантового хаоса

Ярослав А. Харьков, Валентин В. Соколов,
arXiv:1211.1773v2 [quant-ph] 8 Nov 2012;
опубликовано в Phys. Lett. B 718 (2013) 1562-1565.

Недавнее развитие резонансной теории рассеяния с переходным от регулярного к хаотическому режимом внутренней динамики возродила интерес к проблеме усиления упругих процессов по сравнению с неупругими. Мы возвращаемся к вопросу о том, какую информацию о характере внутреннего движения можно извлечь из экспериментально наблюдаемого значения фактора упругого усиления. Отметив вначале примечательную связь этого фактора с дисперсией времен задержки в случаях стандартных гауссовых ансамблей внутренних Гамильтонианов, мы доказываем, что эта связь имеет весьма общий характер и остается справедливой при произвольной степени внутреннего хаоса. Это сводит нашу задачу к проблеме вычисления дайсоновского бинарного форм-фактора во всей пере-

ходной области. Используя в качестве примера системы с нарушенной Т-инвариантностью, мы показываем аналитически, как фактор усиления можно использовать в качестве показателя степени внутренней хаотичности.

Хаотическая интерференция и декогерентность:
внешний шум, смешивание состояний и
квантовое-классическое соответствие
Валентин В. Соколов,
Материалы международной конференции
Хаос2012, Афины, Греция, стр. 2-5, (2012).

Обсуждаются возможные механизмы разрушения квантовой интерференции. Будучи, в своей основе, весьма общим, этот вопрос приобретает особый интерес для понимания боровского принципа соответствия в нетривиальном случае нелинейных систем, хаотических в классическом пределе. В силу экспоненциальной нестабильности классической хаотической динамики, даже произвольно слабое взаимодействие с неупорядоченным окружением критическим образом влияет на характер движения, превращая его в необратимый случайный процесс. Напротив, квантовая динамика той же системы проявляет, благодаря квантованию фазового пространства, значительную степень устойчивости по отношению к внешним возмущениям. Это проявляется в том факте, что, хотя в классическом случае экспоненциально быстрое исчезновение фазовых корреляций лежит в самой основе классического хаоса, так называемый "квантовый хаос" не способен сам по себе разрушить квантовую когерентность. Непременным условием её подавления является формирование смешанных состояний. По указанным выше причинам взаимодействие с неупорядоченным окружением играет первостепенную роль в обоих, как классическом, так и квантовом случаях. Мы иллюстрируем каким образом подавляется квантовая когерентность, используя в качестве типичных примеров системы, возбуждаемые многомодовой периодической внешней силой и стационарный электронный квантовый транспорт сквозь двумерную мезоскопическую структуру.

4

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

И

УПРАВЛЯЕМЫЙ

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

4.1. ИССЛЕДОВАНИЯ НА УСТАНОВКЕ ГДЛ

Установка ГДЛ (ГазоДинамическая Ловушка) в Институте ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН предназначена для экспериментальных исследований по базовым проблемам физики плазмы, решение которых необходимо для осуществления управляемого ядерного синтеза в аксиально-симметричных магнитных ловушках открытого типа.

Таблица 4.1. Основные параметры установки ГДЛ.

Параметр	Значение
Расстояние между пробками	7 м
Магнитное поле в центральной плоскости	до 0,35 Т
Пробочное отношение	33
Мощность атомарных пучков	5,5 МВт
Энергия инжектируемых атомов дейтерия	25 кэВ
Средняя энергия горячих ионов	≈ 10 кэВ
Длительность атомарной инжекции	5 мс
Угол наклона атомарных пучков	45°
Плотность теплых ионов в центре ловушки	$2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$
Максимальная плотность горячих ионов	$5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$
Температура электронов	до 250 эВ
Радиус плазмы в центральной плоскости	14 см
Относительное давление плазмы	до $\beta = 0,6$

Плазма, удерживаемая в ГДЛ, содержит две компоненты ионов с сильно различающимися энергиями. Основной компонентой являются горячие ионы, образующиеся в результате наклонной инжекции атомарных пучков. Для данной компоненты характерен адиабатический режим удержания, и именно она ответственна за реакции синтеза в проектируемых системах реакторного класса на основе ГДЛ. Ионы другой компоненты имеют изотропную в пространстве скоростей максвелловскую функцию распределения. Такое распределение реализуется, когда длина установки L превышает характерную длину рассеяния ионов на угол равный углу при вершине конуса потерь:

$$L \gg \lambda_{ii} \ln(R)/R,$$

где λ_{ii} – длина свободного пробега ионов относительно рассеяния на угол порядка 1, R – пробочное отношение, которое в ГДЛ предполагается большим ($R \gg 1$). Температура этой теплой ионной компоненты оказывается близкой к температуре электронов и имеет величину процентного диапазона относительно энергии частиц атомарных пучков. Следует заметить, что присутствие теплой плазмы в ГДЛ обязательно, поскольку с ее помощью решаются принципиальные проблемы удержания: подавление дрейфово-конусной

циклотронной неустойчивости и подавление поперечных потерь, связанных с неустойчивостями магнито-гидродинамического типа.

В качестве первоочередного приложения ГДЛ предлагается мощный генератор 14 МэВ нейтронов D-T реакции для решения задач термоядерного материаловедения и управления подкритическими ядерными реакторами различного назначения, включая установку для уничтожения долгоживущих радиоактивных отходов. Рекордное для осесимметричных магнитных ловушек значение относительного давления $\beta=0,6$, достигнутое в недавних экспериментах на установке ГДЛ, а также простая и хорошо изученная физика продольного удержания являются надежной основой для конструирования реакторов синтеза с существенными для термоядерных приложений параметрами.

Однако для более полного и глубокого обоснования реакторных приложений ГДЛ требуется дополнительно решить ряд задач, часть из которых составила предмет исследовательских работ по линии ГДЛ в 2012 году:

1) исследование кинетических неустойчивостей (или микронеустойчивостей), которые являются следствием неравновесной функции распределения основной компоненты плазмы – горячих ионов, имеющих энергии термоядерного диапазона (≈ 10 кэВ) и образованных в результате наклонной по отношению к оси установки инжекции атомарных пучков дейтерия с энергией частиц 25 кэВ и суммарной мощностью более 5 МВт;

2) изучение дополнительного нагрева электронной компоненты плазмы при помощи микроволнового излучения на частоте электронного циклотронного резонанса, а также инжекции электронного пучка через магнитную пробку вдоль оси установки.

Кроме того проведены эксперименты с небольшим смещением осевых линий атомарных пучков относительно оси симметрии плазмы с целью сообщить плазменному столбу дополнительный момент импульса разного знака в зависимости от геометрии «нацеливания» пучков. В этом режиме удалось достичь максимального на сегодняшний день значения температуры электронов $T_e > 250$ эВ.

И, наконец, были проведены прямые измерения плотности потока тепла на срезе одной из пробок ГДЛ и показано, что данный параметр имел максимальную величину $Q = 0,25$ ГВт/м² на момент окончания нагрева атомарной инжекцией. Данный результат представляет интерес для специалистов в области изучения эффектов взаимодействия «плазма – поверхность» при больших значениях теплового потока, доставляемого плазмой к элементам конструкции термоядерных реакторов будущего.

Результаты работ по проведению либо подготовке перечисленных исследований кратко освещены в последующих разделах настоящего отчета.

4.1.1. Изучение кинетических неустойчивостей.

Для изучения электромагнитных колебаний в плазме при возможном развитии микронеустойчивостей была создана специальная система высокочастотных магнитных зондов. Магнитный зонд состоит из трёх ортогональных вложенных витков диаметром 10 мм, каждый из которых регистрирует соответствующую ему компоненту магнитного поля возбуждающейся волны: радиальную, азимутальную или продольную (параллельную оси установки ГДЛ). Витки через соответствующие электрические тракты были соединены с каналами синхронного регистратора формы импульса. Частотный диапазон работы магнитных зондов и трактов регистрации лежал в области 0,1 ÷ 10 МГц. Зонды были закреплены внутри вакуумной камеры ГДЛ вблизи границы плазмы на расстоянии 30 см от оси установки. Шесть из них были установлены на одной линии вдоль оси установки ГДЛ, перекрывая одну из половин области движения горячих ионов. Магнитные датчики при этом были установлены не эквидистантно, расстояния между ними были выбраны оптимальными для измерения методом корреляционного анализа длин волн колебаний, распространяющихся вдоль магнитного поля. Также пять датчиков были расставлены неэквидистантно по азимутальным углам в плоскости перпендикулярной оси установки, что позволяло анализировать азимутальную структуру возбуждающихся электромагнитных колебаний.

Измерения показали, что при полной энергии накопленных за счет атомарной инжекции горячих ионов дейтерия более 1100 ÷ 1300 Дж на зондах регистрируются колебания с узким частотным спектром, максимум которого приходится на 1,15 МГц. При этом циклотронная частота дейтронов в вакуумном поле на оси в центральной плоскости составила $\Omega_{ci} = 2,7$ МГц. Колебания генерировались в виде «цугов» различной длительности, их амплитуда при этом была ограниченной и не зависела от энергии (относительного давления) горячих ионов в диапазоне от ≈ 1100 Дж до максимального значения ≈ 1900 Дж.

Корреляционный анализ наблюдаемых электромагнитных колебаний выявил их следующие свойства:

1. Продольная длина волны колебаний совпадает с оценкой для альфвеновской волны.
2. Возбуждающаяся волна обладает эллиптической поляризацией и направление вращения вектора поляризации совпадает с направлением вращения ионов.
3. Волна распространяется из центра ловушки в сторону пробки.
4. В пространственном спектре колебаний доминирует мода с азимутальным волновым числом $m = 1$.

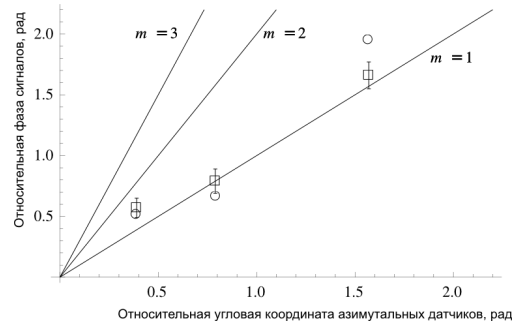


Рис. 4.1.1. Зависимость относительной фазы сигналов на частоте 1,15 МГц от относительной угловой координаты азимутальных зондов.

Рисунок 4.1.1 аргументирует последнее утверждение. На нем показана зависимость относительной фазы колебаний с частотой 1,15 МГц от относительной угловой координаты соответствующих азимутальных зондов. Видно, что измеренные значения фаз лежат близко к прямой, соответствующей азимутальному волновому числу $m = 1$.

Перечисленные признаки позволяют однозначно сделать вывод, что наблюдаемая волна является альфвеновской, и мы имеем дело с альфвеновской ионно-циклотронной неустойчивостью. Данный вид неустойчивости приводит к генерации волны с круговой поляризацией и $\omega < \Omega_{ci}$. Напомним, что альфвеновская волна распространяется вдоль силовых линий магнитного поля.

Предварительные результаты экспериментального изучения микронеустойчивости, перечисленные выше, мотивировали углубленный теоретический анализ данной проблемы. В ходе анализа были учтены главные особенности эксперимента на установке ГДЛ:

1. наклонная инжекция атомарных пучков;
2. близкий к реальному вид функции распределения горячих ионов по скоростям;
3. реальные пространственные неоднородности плазмы и магнитного поля.

Краткое описание теоретического анализа дано в работе [I.S.Chernoshtanov, Yu.A.Tsidulko, "Alfven ion-cyclotron instability in a mirror trap with skew injection of neutral beams", принято к печати в журнал Fusion Science and Technology], основными результатами являются следующие выводы:

1. Генерация электромагнитной волны осуществляется группой ионов с продольными скоростями превышающими среднюю продольную скорость частиц в инжектируемых атомарных пучках $|v_{||res}| \geq |v_{||inj}|$.
2. Учёт поперечной неоднородности приводит к увеличению порогового значения относительного давления плазмы, при котором начинается развитие неустойчивости.

Задачей следующего шага экспериментальных исследований стала проверка основных выводов проведенного анализа. Диапазон продольных скоростей ионов, способных взаимодействовать с волной определялся из условия циклотронного резонанса:

$$\omega - \Omega_{ci} = k_{\parallel} v_{\parallel res}, \quad (4.1.1)$$

где ω - частота волны, Ω_{ci} - циклотронная частота для горячих ионов, соответствующая магнитному полю в плазме в центральной плоскости ГДЛ, где происходит генерация волны, k_{\parallel} - проекция волнового вектора на направление вдоль магнитного поля, $v_{\parallel res}$ - продольная скорость ионов, находящихся в резонансе с волной.

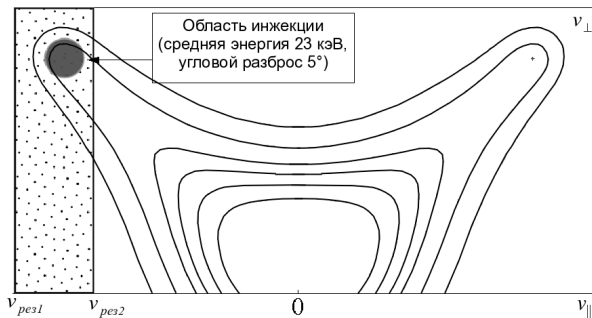


Рис. 4.1.2. Изолинии функции распределения, область рождения горячих ионов, границы конуса потерь и область резонансных частиц на плоскости $v_{\parallel} - v_{\perp}$.

Частота волны – непосредственно измеряемая величина, k_{\parallel} - вычисляется по результатам корреляционного анализа данных от магнитных зондов, расположенных вдоль оси установки. Таким образом, для оценки диапазона продольных скоростей резонансных ионов из (4.1.1) необходимо знать Ω_{ci} . Для вычисления циклотронной частоты необходимо получить величину магнитного поля внутри плазмы с учетом ее диамагнетизма. В нашем случае было сделано две предельные оценки. В первом случае Ω_{ci} была вычислена для вакуумного магнитного поля в центральной плоскости ГДЛ, величина которого была $B_0 = 0,3$ Т. Также вычисление Ω_{ci} было проведено для центральной плоскости с учетом максимального значения параметра β (отношения поперечного давления плазмы к давлению магнитного поля) на момент развития неустойчивости. Данная величина получена путем прямого измерения магнитного поля внутри плазмы при помощи пучково-спектроскопической диагностики, основанной на динамическом эффекте Штарка. Измерения произведены в области остановки горячих ионов, значение параметра β , соответствующее «порогу» развития неустойчивости, составило $\beta = 0,28$.

Таким образом, из условия (4.1.1) получено два значения $v_{\parallel res1}$ и $v_{\parallel res2}$, соответствующих минимально и максимально возможным значениям продольных

скоростей резонансных ионов. Результат иллюстрируется рисунком 4.1.2, где показаны изолинии функции распределения горячих ионов на плоскости $v_{\parallel} - v_{\perp}$.

Область рождения горячих ионов за счет захвата атомарных пучков обозначена диском. Область с минимально и максимально возможными продольными скоростями резонансных ионов ограничена вертикальными линиями и закрашена точечной текстурой. Из рисунка видно, что резонансное взаимодействие с волной возможно только для относительно малой группы частиц, лежащей в достаточно узкой области фазового пространства вблизи области рождения горячих ионов за счет ионизации инжектируемых атомов. Небольшого торможения либо рассеяния ионов в область далекую от границы конуса потерь достаточно, чтобы вывести частицы из области резонансного взаимодействия с волной.

Основные результаты работ 2012 года по исследованию альфвеновской ионно-циклотронной неустойчивости перечислены ниже:

1. Идентифицирован тип неустойчивости – альфвеновская ионно-циклотронная с $\omega \leq \Omega_{ci}$;
2. Обнаружено, что в резонансе с волной находится группа ионов с энергией близкой к максимальной и угловым разбросом близким к угловому разбросу инжектируемых атомарных пучков. *В процессе торможения и рассеяния частицы выходят из области резонанса, не достигая конуса потерь;*
3. Показано, что при увеличении гирорадиуса горячих ионов до величин, сравнимых с характерным радиусом плазмы ($\rho_{\perp inj} \rightarrow r_p$) критическое значение β , соответствующее порогу развития неустойчивости, увеличивается.

В 2013 году планируется завершить данный цикл исследований. В рабочий план 2013 года внесены следующие задачи:

1. Уточнение ширины диапазона продольных скоростей резонансных ионов;
2. Точное измерение зависимости пороговых значений β от $r_p/\rho_{\perp inj}$;
3. Эксперименты с одновременной инжекцией пучков D^0 и H^0 . Измерение пороговых значений β от соотношения концентраций горячих ионов с различными массами.

Для решения этих и ряда других задач будет использован дополнительный канал пучково-спектроскопической диагностики, основанной на динамическом эффекте Штарка. Новый измерительный канал полностью подготовлен к работе на момент написания отчета и позволяет проводить с высокой точностью измерения радиальных профилей магнитного поля внутри плазменного столба в центральной плоскости ГДЛ в режимах с высоким значением параметра β .

4.1.2. Состояние работ по дополнительному ЭЦР нагреву плазмы на установке ГДЛ.

Энергетическое время жизни горячих ионов в ГДЛ определяется, в основном, их кулоновским торможением за счет взаимодействия с электронами и пропорционально электронной температуре в степени 3/2:

$$\tau_{ei} = \frac{3}{4\sqrt{2}\pi} \cdot \frac{m_i}{\sqrt{m_e}} \frac{T_e^{3/2}}{z^2 \cdot \Lambda \cdot e^4 \cdot n},$$

где m , z – масса и заряд горячих ионов, m_e, e, n, T_e – масса, заряд, плотность и температура электронов, Λ – кулоновский логарифм. Данное обстоятельство означает, что температура электронов является наиболее важным параметром, который определяет время удержания горячих ионов и эффективность проектируемого источника нейтронов на основе ГДЛ.

Использование дополнительного электронно-циклотронного (ЭЦР) нагрева является одним из способов увеличения электронной температуры. Для реализации дополнительного нагрева в ГДЛ было предложено создание системы ЭЦР нагрева на основе двух гиротронов ($f=54,5$ ГГц, $P=450$ кВт). Суммарная мощность СВЧ излучения, генерируемая двумя гиротронными модулями ($2 \times 450 = 900$ кВт), оказывается сравнимой с мощностью нагрева плазмы в ГДЛ за счет торможения в ней горячих ионов (≈ 1000 кВт). Предварительные расчеты показывают, что использование такой системы СВЧ нагрева позволит достичь существенного увеличения температуры электронов, до 350 эВ вместо 250 эВ в настоящее время. Согласно результатам численного моделирования, нейтронный источник на основе ГДЛ с температурой электронов $T_e > 300$ эВ становится вполне конкурентоспособным по сравнению с соответствующими системами на основе ускорителей.

Конструкция системы ЭЦР нагрева для ГДЛ, а также результаты численного моделирования процесса нагрева плазмы подробно описаны в разделе 4.1 отчета ИЯФ СО РАН за 2011 год. В данном отчете кратко перечислим основные результаты работ 2012 года по этому направлению и состояние дел на момент написания отчета.

В 2012 году были завершены работы по подготовке эксперимента по ЭЦР нагреву на установке ГДЛ. Получены из производства в ИПФ РАН и ЗАО «Гиком» (Н.Новгород) все элементы, необходимые для монтажа линий формирования и транспортировки пучков СВЧ излучения. Изготовлены и смонтированы на установке ГДЛ дополнительные компоненты, необходимые для крепления и юстировки элементов волноводных трактов. Изготовлены и смонтированы на установке ГДЛ конические элементы вакуумной камеры с портами для инъекции СВЧ излучения в плазму и подвижными заслонками с пневматическим приводом для предохранения кварцевых входных окон от покрытия титановой пленкой в процессе ти-

танирования внутренней поверхности вакуумной камеры перед рабочими импульсами установки. Полностью выполнены все работы по монтажу и юстировке трактов транспортировки пучков СВЧ излучения от двух гиротронных модулей до установки ГДЛ.

После завершения работ по монтажу и юстировке волноводных линий проведены их «горячие» испытания. При помощи калориметрических измерений показано, что в области плазмы мощность излучения составляет не менее 80% от мощности, генерируемой гиротронами, что находится в хорошем соответствии с результатами предварительных электродинамических расчетов.

Смонтированы, налажены и подготовлены к работе источники высоковольтного питания (модуляторы) гиротронов с напряжением 70 кВ, током до 25 А, стабильностью напряжения – не хуже 1,5%. Смонтирована, испытана и подготовлена к работе система управления и контроля параметров гиротронных комплексов, включая электронику и соответствующее программное обеспечение.

На момент написания отчета один из двух каналов системы ЭЦР нагрева полностью подготовлен к работе. Начата первая серия экспериментов по СВЧ нагреву плазмы на установке ГДЛ. Идут работы по подготовке и запуску второго канала.

4.1.3. Состояние работ по подготовке эксперимента с инжекцией электронного пучка в ГДЛ.

Первая серия экспериментов с инжекцией электронного пучка в ГДЛ была проведена в 2011 году. Результаты этих экспериментов, которые подробно описаны в отчете ИЯФ СО РАН за 2011 год, мотивировали разработку новой версии электронной пушки для проведения новой серии экспериментов, которая планируется в 2013 году.

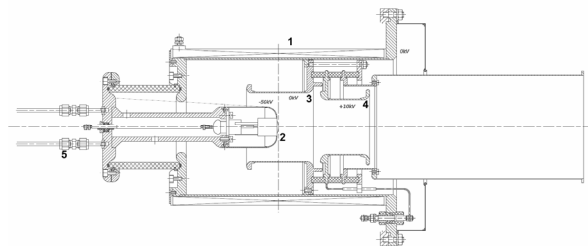


Рис. 4.1.3. Конструкция новой версии электронной пушки для экспериментов с инжекцией электронного пучка в ГДЛ: 1 – соленоид, 2 – накаливаемый катод, 3 – анод, 4 – электрод для подавления потока ионов из ловушки, 5 – патрубки водяного охлаждения.

Конструкция новой версии электронной пушки для экспериментов с инжекцией электронного пучка в ГДЛ поясняется рисунком 4.1.3. Прибор сконструиро-

ван в расчете на следующие параметры электронного пучка:

- энергия электронов - 50 кэВ;
- ток пучка - 20 А;
- длительность импульса - 1 мс.

Расчетная угловая расходимость пучка позволяет производить его адиабатическое сжатие при транспортировке вдоль магнитного поля до степени компрессии $K > 60$.

Работы по изготовлению электронной пушки и источника высоковольтного питания планируется завершить в первой половине 2013 года. Эксперименты по дополнительному нагреву плазмы с помощью электронного пучка запланированы на 3 – 4 кварталы 2013 года.

4.1.4. Эксперименты со смещением осевых линий атомарных пучков относительно оси симметрии плазмы.

В 2012 году была проведена серия экспериментов с небольшим (≈ 5 см) смещением осевых линий атомарных пучков относительно оси симметрии плазмы с целью сообщить плазменному столбу дополнительный момент импульса разного знака в зависимости от геометрии «нацеливания» пучков. В результате оказалось, что в случае передачи момента импульса в направлении естественного вращения плазмы за счет $E \times B$ дрейфа в радиальном электрическом и магнитном полях удержание плазмы существенно улучшается. Радиальное электрическое поле возникает из-за радиального перепада электронной температуры и соответствующего этому перепаду градиенту амбиполярного потенциала плазмы. В этом режиме удалось достичь максимального на сегодняшний день значения температуры электронов $T_e > 250$ эВ.

На рисунке 4.1.4 показан один из результатов измерений электронной температуры в данном режиме.

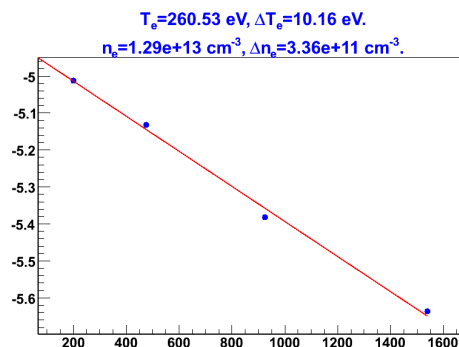


Рис. 4.1.4. Максимальное значение температуры электронов, полученное в эксперименте со смещением осевых линий атомарных пучков относительно оси симметрии плазмы: измерено на оси в центральной плоскости ГДЛ в момент окончания атомарной инжекции.

4.1.5. Измерения плотности потока тепла на срезе пробки.

В 2012 году также были проведены прямые измерения плотности потока тепла на срезе одной из пробок ГДЛ и показано, что данный параметр имел максимальную величину $Q = 0,25$ ГВт/м² на момент окончания нагрева атомарной инжекцией, существенно не достигая при этом стационарного значения. Численное моделирование потоков плазмы через пробки показывает, что в случае реализации стационарных условий при мощности атомарных пучков $\approx 5-10$ МВт возможно получить на срезе пробки ГДЛ плотность потока тепла в плазме до 1 ГВт/м². Эти результаты демонстрируют, что на основе ГДЛ возможно создание стенда для изучения взаимодействия «плазма-поверхность», способного в полном масштабе реализовать плотность потока тепла в пограничном слое плазмы токамаков следующего поколения класса ИТЭР.

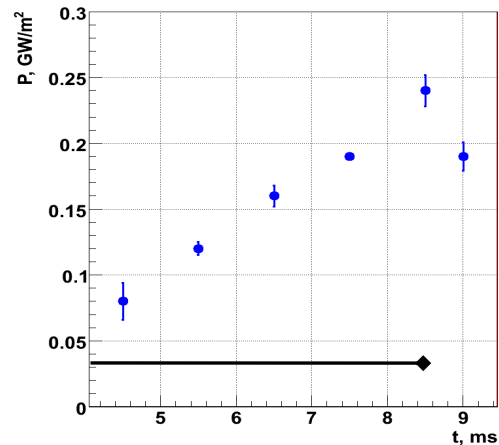


Рис. 4.1.5. Реконструированный по результатам измерений временной ход плотности тепловой мощности в пробке ГДЛ для газодинамического режима течения плазмы.

На рисунке 4.1.5 показан вычисленный по результатам измерений временной ход плотности тепловой мощности в пробке ГДЛ для газодинамического режима течения плазмы через пробки. Видно, что на момент окончания атомарной инжекции (8,5 мс по шкале на рисунке) плотность потока тепла достигает величины $0,25$ ГВт/м². При этом близкая к линейно нарастающей форма импульса свидетельствует о том, что при длительности инжекции нейтральных пучков в 5 мс стационарное состояние не достигается.

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 мощного электронного пучка и физики удержания высокотемпературной плазмы в многопробочной открытой ловушке. Особенностью процессов, определяющих поведение плазмы в ловушке, является определяющая роль коллективных и нелинейных эффектов. Научная программа 2012 года состояла из нескольких независимых направлений исследований. Одним из них являлось изучение генерации электромагнитного излучения суб-терагерцового диапазона в окрестности двойной плазменной частоты, которое возникает при сильной ленгмюровской турбулентности, сопровождающей релаксацию сильнооточного релятивистского электронного пучка в плазме. Другим направлением стали эксперименты по новой для установки ГОЛ-3 программе, в которых в плазму инжектировался длинноимпульсный электронный пучок умеренной мощности. Помимо указанных программ, основные результаты работ по которым приведены далее в этом разделе, на установке ГОЛ-3 проводились и другие исследования, направленные на развитие физики и технологии коллективного нагрева плазмы мощным электронным пучком, а также на изучение воздействия мощных плазменных

потоков на конструкционные материалы. Параллельно с экспериментами по научным программам, в 2012 году продолжалось развитие экспериментальной базы.

Внешний вид установки представлен на рисунке 4.2.1. 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 в стандартной конфигурации ГОЛ-3 выглядит следующим образом. При помощи нескольких импульсных клапанов в металлической вакуумной камере $\varnothing 10$ 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 $(1 - 30) \times 10^{20} \text{ м}^{-3}$ и температурой ~ 2 эВ. Затем в плазму инжектируется релятивистский электронный пучок,



Рис. 4.2.1. Фотография установки ГОЛ-3.

создаваемый ускорителем У-2. Пучок имеет следующие параметры: энергия электронов 0,5 - 0,8 МэВ, ток 20 - 25 кА, длительность по основанию 8 - 12 мкс, энергосодержание до 120 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, а затем сжимается и преобразуется в пучок круглого сечения магнитной системой ускорителя. В результате коллективного нагрева плазма может приобретать ионную температуру масштаба 2÷3 кэВ в оптимальных режимах (в наиболее горячей части плазменного столба). Использование многопробочной схемы удержания (гофрированного магнитного поля) позволяет удерживать горячую плазму гораздо дольше, чем в простой соленоидальной ловушке.

В 2012 году впервые была проведена серия экспериментов в принципиально новом режиме, когда в многопробочную ловушку инжектировался электронный пучок с энергией ~80 кэВ, мощностью до 10 МВт и длительностью >100 мкс. Технология генерации электронных пучков с указанными параметрами, пригодных для инжекции в плазменную ловушку (то есть устойчивых к воздействию вылетающего из ловушки мощного плазменного потока) была отработана на специальном стенде в течение нескольких лет.

4.2.2. Терагерцовое излучение при релаксации релятивистского электронного пучка

Исследование механизмов генерации, а также особенностей спектра электромагнитного излучения из плазмы в условиях сильной ленгмюровской турбулентности, возникающей при интенсивной релаксации электронного пучка в плазме, является одной из важнейших фундаментальных задач физики термоядерной плазмы. Данная задача важна не только с точки зрения проблем управляемого термоядерного синтеза, но также является одной из основных задач астрофизических наблюдений. Поскольку радиоизлучение плазменных космических объектов, таких как Солнце, имеет плазменную природу излучения и в основе данных явлений лежат процессы, подобные процессам, протекающим в условиях турбулентного нагрева плазмы в открытых магнитных системах.

В 2012 году на установке ГОЛ-3 продолжились эксперименты по генерации электромагнитного излучения в субтерагерцовом диапазоне во время релаксации релятивистского электронного пучка в плазме. Детальное рассмотрение эволюции спектра излучения показало влияние плотности плазмы на его профиль. Так в течение инжекции электронного пучка (Рис. 4.2.2), спектр со временем смещается в область более высоких частот. Данное обстоятельство может объясняться увеличением плотности плазмы во время инжекции пучка в плазму, что подтверждается измерениями средней плотности плазмы при помощи интерферометрической диагностики (Рис. 4.2.3).

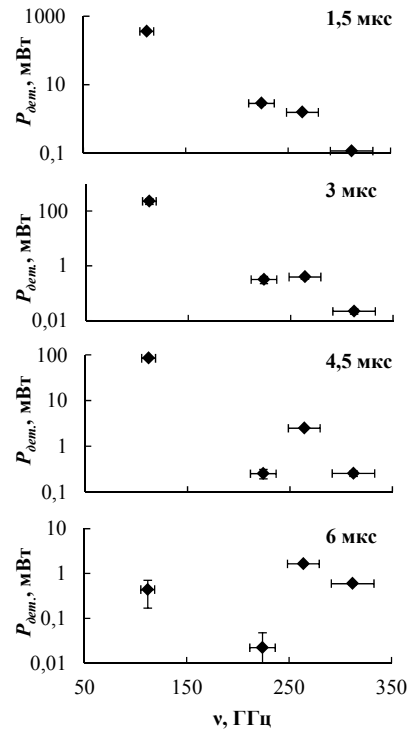


Рис. 4.2.2. Спектр электромагнитного излучения плазмы в разные моменты времени после начала инжекции электронного пучка.

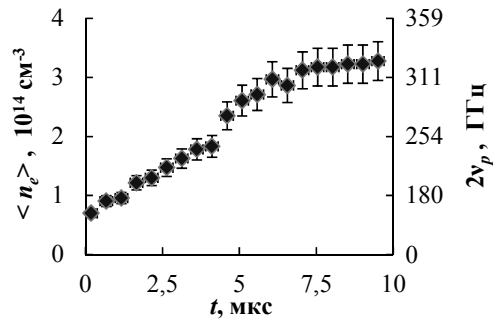


Рис. 4.2.3. Эволюция плотности плазмы согласно CO_2 -интерферометрической диагностике. Шкала справа соответствует пересчитанным значениям средней плотности плазмы на величину удвоенной плазменной частоты.

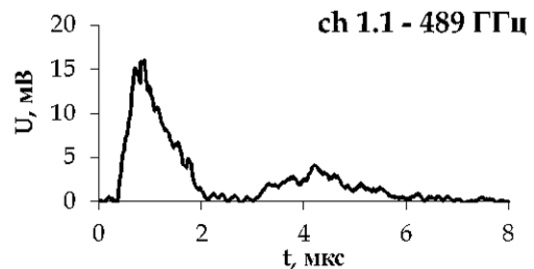


Рис. 4.2.4. Динамика излучения в спектральном канале 489 ГГц при релаксации релятивистского электронного пучка в плазме ГОЛ-3.

Это обстоятельство позволило найти режим работы установки ГОЛ-3 в котором релаксация релятивистского электронного пучка в плазме сопровождается генерацией электромагнитного излучения вблизи 0,5 ТГц, см. рисунок 4.2.4.

Поскольку наблюдаемое излучение связывается с наличием ленгмюровской турбулентности в области плазмы, занятой электронным пучком, полная энергия, регистрируемая детекторами субтерагерцового излучения, может быть отождествлена с величиной электрического поля в этой области.

4.2.3. Мотивация исследований с инжекцией длинноимпульсного электронного пучка в многопробочную ловушку

В 2012 году было осуществлено изменение режима работы установки ГОЛ-3, заключающееся в переходе на новую систему генерации и инжекции электронного пучка в плазму. Данные эксперименты направлены на демонстрацию возможности инжекции электронного пучка большой длительности в плазму. Физическая программа исследований включает в себя как эксперименты по достижению квазистационарного состояния плазмы на установке ГОЛ-3, так и работы по уточнению некоторых предположений, закладываемых в физический проект открытой ловушки нового поколения ГДМЛ.

Данное направление исследований предполагает принципиальную возможность работы со стационарной инжекцией электронного пучка, поэтому потребовалось создание источника электронного пучка умеренной мощности, масштаба 10 МВт, способного работать в налетающем плазменном потоке. При наличии длинноимпульсной инжекции электронного пучка появляется принципиальная возможность использования и других традиционных методов нагрева плазмы: нейтральной инжекции и ВЧ-нагрева.

Анализ возможных технических решений показал, что предъявляемым требованиям может удовлетворить схема генерации в многоапертурных электронно-оптических системах с плазменным катодом. Дополнительными особенностями применённой схемы генерации является наличие достаточно сильного продольного магнитного поля, которое влияет на работу и параметры генератора плазмы, а также необходимость магнитной компрессии электронного пучка минимум в 100 раз по плотности тока для того, чтобы получить в ловушке приемлемое отношение плотности электронов пучка к плотности плазмы.

4.2.4. Источник длинноимпульсного электронного пучка с плазменным эмиттером

Схема инжектора показана на рисунке 4.2.5. Высоковольтный электрод (1) из нержавеющей стали смонтирован на проходном изоляторе из оргстекла (2), рассчитанном на рабочее напряжение до 150 кВ.

Электроны пучка извлекаются из плазмы, создаваемой импульсным дуговым разрядом в водороде. Генератор дуги (3) с холодным катодом расположен внутри высоковольтного электрода. Цилиндрический дуговой канал сформирован набором медных шайб, изолированных друг от друга. Стабилизация разряда в дуговом канале осуществляется магнитным полем величиной ~ 0,1 Тл, создаваемым специальной небольшой катушкой.

Экспандер эмиссионной плазмы (4) служит полым анодом дугового разряда. В его торцевой плоскости находится молибденовая вставка с 241 круглым эмиссионным отверстием (Рис. 4.2.6). Отверстия расположены в гексагональном порядке. Экстрагирующий электрод, он же анод диода (5), заземлен и также имеет 241 отверстие. Ускоренные электроны транспортируются в трубе дрейфа (6) на металлический коллектор (в серии испытательных экспериментов) либо в плазменную камеру ГОЛ-3. Магнитное поле (10–100 мТл) в районе расположения инжектора и трубы дрейфа создается с помощью внутренней катушки (7) инжектора, расположенной в вакууме, и внешних обмоток на концевом баке (8).

Силовая и управляющая электроника генератора дугового разряда смонтирована в клетке Фарадея, расположенной рядом с источником пучка и находящейся под ускоряющим потенциалом. Импульс ускоряющего напряжения формируется с помощью высоковольтной конденсаторной батареи и двух разрядников: главного и срезающего (последний одновременно выполняет защитную функцию при пробое диода).

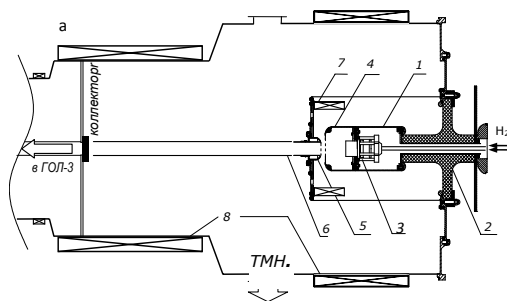


Рис. 4.2.5. Схема генератора пучка в расширительном баке ГОЛ-3.



Рис. 4.2.6. Общий вид электродов ЭОС. Слева показан катод, справа – анод.

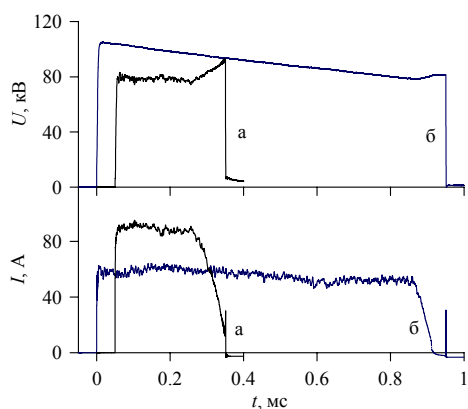


Рис. 4.2.7. Типичные осциллограммы пучка, полученные при работе на коллектор при токе ~ 90 А (а) и максимальной длительности $\sim 0,9$ мс (б).

Источник был установлен в концевой расширительный бак ГОЛ-3, заменив выходной приёмник пучка, использовавшийся в предшествующих экспериментах с 200-кДж релятивистским электронным пучком генератора У-2. Типичные осциллограммы выстрелов в подготовительных экспериментах, где пучок сбрасывался на металлический коллектор в 1 м от диода, показаны на рисунке 4.2.7. Отметим, что длительность импульса в этих экспериментах задавалась программно, генерация пучка прекращалась после выключения источника плазмы.

4.2.5. Инжекция длинноимпульсного электронного пучка в ГОЛ-3

Расстояние от диода инжектора до первой входной магнитной пробки составляло около 2 м, диаметр бака расширителя примерно 1 м. Для снижения эффекта пространственного заряда пучок сопровождался до магнитной пробки металлической трубой дрейфа диаметром 0,1 м.

Магнитное поле в дрейфовом канале, от инжектора к входной пробке, нарастало достаточно медленно, что позволяет рассматривать процесс компрессии пучка в адиабатическом приближении. Инжекция пучка проводилась с напуском в камеру дейтерия. Напуск газа осуществлялся при помощи импульсного клапана, расположенного в восьми метрах от источника. Требуемое распределение плотности газа по длине установки достигалось путём изменения начального давления и задержки срабатывания пучка относительно напуска газа. При этом величина задержки варьировалась в пределах 50 – 200 мс. Распределение газа в камере установки для типичной величины задержки в 50 мс показано сплошной кривой на рисунке 4.2.8. Также в экспериментах изменялась конфигурация и величина магнитного поля. Поле в области источника варьировалось от 10 до 20 мТл, а среднее поле соленоида изменялось от 0,35 Тл до 2 Тл, что соответствует диапазону пробочных отношений от 20 до 200.

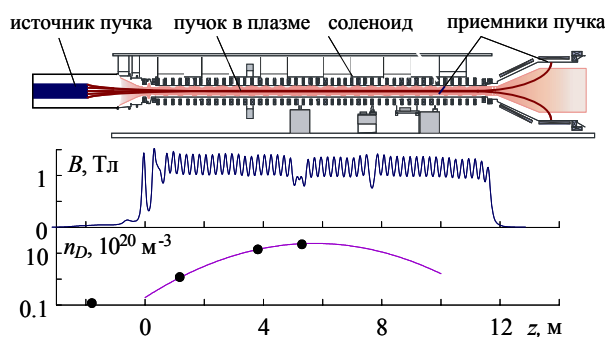


Рис. 4.2.8. Вверху: схема эксперимента. В середине: типичное распределение магнитного поля по длине установки. Внизу: типичное начальное распределение концентрации дейтерия по длине установки.

Инжектируемый электронный пучок имел следующие параметры: энергия - 70 - 100 кэВ, ток пучка - 15 - 100 А, инжектируемая энергия в пучке - до 1 кДж, длительность импульса - до 300 мкс, мощность пучка - до 10 МВт. Начальная плотность тока эмиссии составляла до 20 А/см².

После прохождения через камеру ГОЛ-3 пучок принимался на танталовый коллектор, который располагался в 12 м от источника пучка.

Плазма в установке создавалась из напускаемого дейтерия непосредственно электронным пучком. Штатная система создания плазмы ГОЛ-3 оказалась несовместима с первой версией нового генератора электронного пучка, в связи с сильным потоком газа и плазмы, создаваемыми в направлении диода и приводящим к его пробою.

Ионизация газа происходит в сечении пучка при его транспортировке через установку. Динамика плотности плазмы в точке наблюдения определяется балансом между процессами локальной ионизации напускаемого газа, притока газа из области, не занятой пучком и потока плазмы вдоль магнитного поля. Пучок занимал лишь небольшую часть вакуумной камеры; таким образом, процессы рекомбинации в значительной степени влияли на время удержания плазмы. В дальнейшем планируется перейти от напуска газа к плазме, предварительно создаваемой специальным генератором, разрабатываемым в настоящее время.

Полный ток, текущий по плазменной камере, измерялся поясами Роговского в 8 различных позициях по длине. Амплитуда и форма токов, измеряемых в различных точках, практически совпадали, что свидетельствует о том, что в этих экспериментах плазменный ток не замыкался поперек магнитного поля. В большинстве случаев амплитуда измеряемых токов составляла 30 – 50% от величины инжектируемого тока пучка. Возможно, что (как и в случае релятивистского электронного пучка) ток пучка частично нейтрализован встречным током плазмы. Тем не менее, несовпадение тока пучка и тока текущего по плазменной камере также можно объяснить и отражением части электронов от входной магнитной пробки.

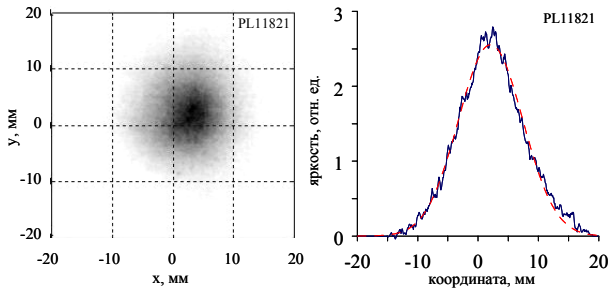


Рис. 4.2.9. Отпечаток пучка на коллекторе (12 м от источника), снятый рентгеновской камерой-обскурой. Mean B is 1,24 Т. Пунктирной линией показана аппроксимация гауссовским профилем.

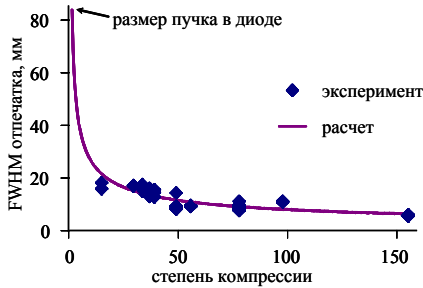


Рис. 4.2.10. Зависимость поперечного размера пучка от величины коэффициента компрессии. Точками отмечены поперечные размеры пучка, полученные в экспериментах. Сплошная линия - расчетная кривая.

Устойчивость пучка при транспортировке была проверена в экспериментах с помощью быстрой рентгеновской камеры-обскуры. На рисунке 4.2.9 показано типичное рентгеновское изображение пучка на танталовом коллекторе. Размер отпечатка пучка находится в разумном согласии с ожидаемым значением, вычисленным в предположении адиабатического движения пучка в магнитном поле (Рис. 4.2.10).

Данные с группы азимутально расположенных индукционных датчиков магнитного поля (набор катушек Мирнова) и скоростной видеокамеры указывают на быстрое вращение магнитных возмущений в средней части плазменной камеры. Тем не менее, такие мелкомасштабные перемещения в центральной части камеры оставались на безопасном уровне и не приводили к сбросу пучка на стенку вакуумной камеры.

4.2.6. Нагрев плазмы.

Инжекция пучка в дейтерий приводит к его ионизации, и далее к нагреву получившейся плазмы. На рисунке 4.2.11 приведены типичные сигналы диагностики для выстрела пучка с мощностью инжекции 1,7 МВт. После начала инжекции возникает некоторый переходный период, когда происходит образование плазмы в ловушке. В зависимости от параметров, эта фаза длится в течение 15 – 30 мкс, затем устанавливается квазистационарная картина. Регистрируемые

диамагнитные сигналы остаются практически постоянными (как во времени, так и по длине установки). Ток, текущий вдоль оси плазменной камеры, так же мало изменяется. Мощность тормозного излучения с коллектора соответствует току пучка, из чего можно сделать вывод, что степень релаксации пучка в плазме в течение выстрела практически не изменяется.

В этих экспериментах нами использовались также специальные микроволновые диагностики, которые имели полосу регистрации, подходящую для детектирования излучения на двойной плазменной частоте. Данное излучение является надёжным индикатором сильной ленгмюровской турбулентности, накапливаемой пучком при его релаксации в плазме. Сигнал излучения длится в течение значительной части выстрела (Рис. 4.2.11).

Ближе к концу инжекции пучка начинает расти ВУФ-излучение из области плазмы. По-видимому, это вызвано локальным ростом плотности, что в свою очередь приводит к уменьшению плазменно-пучкового взаимодействия и к снижению интенсивности регистрируемого электромагнитного излучения (т.к. частота излучения меняется как корень квадратный из плотности плазмы). Наблюдалось и мягкое рентгеновское излучение из плазмы, связанное с образованием надтепловых электронов. Время жизни таких электронов в ловушке достигало 1 мс, что подтверждается тем, что мягкое рентгеновское излучение из плазмы сохраняется после окончания инжекции пучка в течение этого времени (Рис. 4.2.12).

Данные, полученные с помощью Томсоновского рассеяния, также свидетельствуют о коллективной релаксации пучка, так как зарегистрированное рас-

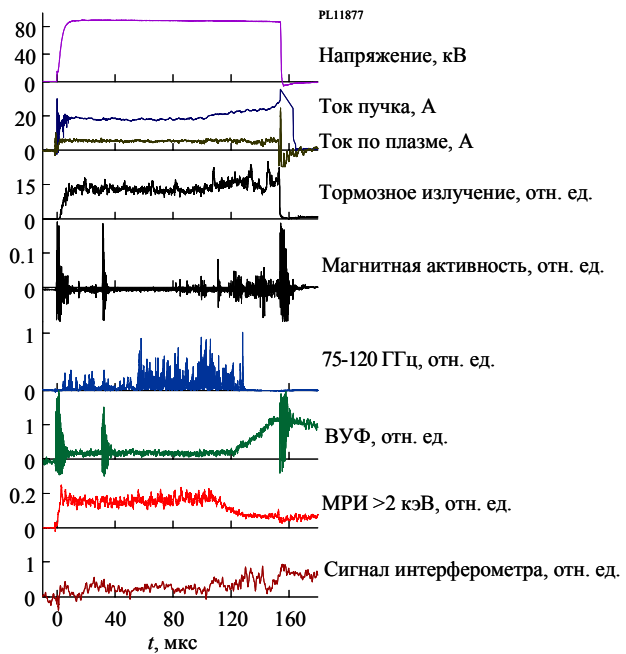


Рис. 4.2.11. Типичные осциллограммы для пучка с мощностью 1,7 МВт. Режим работы $n_e \sim (0,5 - 0,9) \times 10^{20} \text{ м}^{-3}$, $\langle B \rangle = 1,24 \text{ Тл}$.

пределение электронов плазмы по энергиям отклоняется от равновесного распределения. Однако, если аппроксимировать kern (низкоэнергетическую часть) измеренного распределения максвелловским, то электронная температура в центре плазменно-пучкового шнура (в зависимости от режима) лежит в диапазоне от 20 до 100 эВ. Зарегистрированная Томсоновским рассеянием плотность плазмы в сечении пучка составляет величину от $10^{19} - 10^{20} \text{ м}^{-3}$, а радиальный профиль плотности постоянен. Отметим, что типичный сигнал диамагнетизма пучковой плазмы (с учетом данных по профилю) дает среднюю энергию электрон-ионной пары 100 - 150 эВ. Ряд диагностик, по которым можно судить об ионной температуре плазмы, показывают, что основная часть энергии плазмы все же содержится в надтепловых электронах.

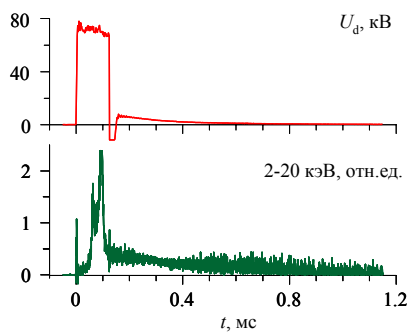


Рис. 4.2.12. Осциллограммы ускоряющего напряжения (вверху) и мягкого рентгеновского излучения в интервале энергии 2 - 20 кэВ (внизу). «Хвост» рентгеновского излучения длится в течение 1 мс после окончания пучка.

4.2.7. СВЧ-излучение при релаксации слабо-релятивистского электронного пучка

Одной из важнейших демонстраций по взаимодействию удлиненного пучка в плазму явилось прямое наблюдение интенсивной генерации электромагнитного излучения в диапазоне 50 - 200 ГГц, что является косвенным свидетельством того, что передача энергии от электронного пучка плазме осуществляется турбулентным механизмом (Рис. 4.2.13). Сильная изрезанность сигналов детекторов также свидетельствует о возможном образовании динамических провалов в плотности плазмы (плазменных каверн) по Захаровскому механизму во время развития ленгмюровской турбулентности в плазме.

Режим работы при таком электронном пучке позволяет получить экспериментальные наблюдения эмиссии электромагнитного излучения в достаточно широком диапазоне изменения ведущего магнитного поля соленоида, что равносильно изменению уровня компрессии электронного пучка. В первых экспериментах по изменению ведущего магнитного поля было установлено, что с его ростом наблюдается эффективное увеличение уровня эмиссии электромагнитного излу-

чения из плазмы. Так, например, при величине ведущего магнитного поля 0,7 Тл мощность излучения на детекторе составляет $\sim 8 \text{ мВт}$, в то время как при поле 1,24 Тл эта величина равна 0,25 мВт, при этом режим работы по генерации электронного пучка остается неизменным.

Важно отметить, что величина и длительность тока инжектируемого пучка в плазму прямым образом влияет как на уровень генерации электромагнитного излучения в СВЧ-диапазоне, так и на длительность генерации излучения из плазмы (рис. 4.2.13). В частности, было обнаружено, что локальный максимум регистрируемой мощности электромагнитного излучения наблюдается при токе пучка $\sim 25 \text{ А}$ и составляет $\sim 4 \text{ мВт}$ на детекторе при магнитном поле в месте наблюдения 1,24 Тл. При пересчете на геометрию эксперимента соответствующая удельная мощность излучения в предположении изотропного распределения равна $\sim 0,9 \text{ кВт/см}^3$. В результате, оценивая излучающую область плазмы по длине как $\sim 1 \text{ м}$, получаем оценку полной мощности излучения из плазмы $\sim 10 \text{ кВт}$, что соответствует $\sim 0,5\%$ полной мощности электронного пучка.

Таким образом, в течение 2012 года был проведен систематический анализ данных экспериментов по нагреву плазмы с плотностью $n_e = 10^{19} - 10^{20} \text{ м}^{-3}$ в магнитном поле $B = 0,26 - 1,8 \text{ Тл}$ с помощью мощного

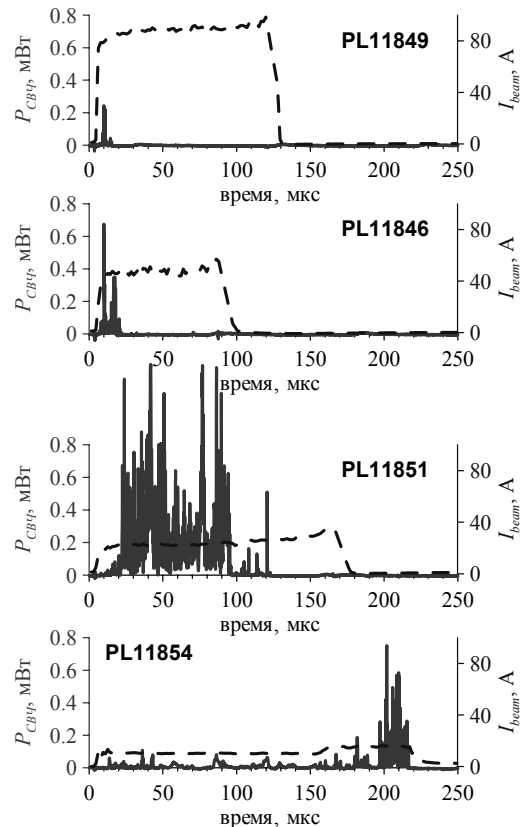


Рис. 4.2.13. Регистрируемая мощность эмиссии электромагнитного излучения в диапазоне 75 - 120 ГГц (сплошная кривая) при разных значениях тока электронного пучка (пунктирная кривая).

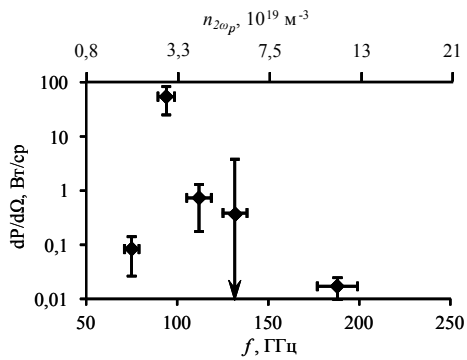


Рис. 4.2.14. Распределение усреднённой мощности электромагнитного излучения из плазмы по спектральным каналам частотно-селективной четырёхканальной квазиоптической системы для условий эксперимента, соответствующих максимуму излучательной способности плазмы в заданном диапазоне частот (полный ток электронного пучка 25 ± 3 А, величина магнитного поля 1,24 Тл).

электронного пучка с энергией 50 - 90 кэВ, плотностью тока пучка 10 - 180 А/см² и длительностью до 0,1 мс, который выявил ряд закономерностей формирования и эволюции генерации электромагнитного излучения в течение инжекции электронного пучка в плазму.

Было установлено по результатам диагностики плотности плазмы по томсоновскому рассеянию, что при взаимодействии субмиллисекундного электронного пучка с холодной плазмой образуется плазма с плотностью $\sim 3 \times 10^{19}$ м⁻³, что соответствует плазменной частоте $f_p \approx 49$ ГГц. Поскольку используемая радиометрическая система регистрации электромагнитного излучения использует детекторные секции с переходным входным волноводным окном, задающим отсечку на частотной полосе чувствительности детекторов не выше 70 ГГц, то наблюдение излучения в окрестности первой гармоники плазменной частоты было невозможным.

Обзорная регистрация генерируемого СВЧ излучения в окрестности удвоенной плазменной частоты выявила в спектре электромагнитного излучения узкий пик в окрестности $f \approx 94$ ГГц с шириной $\Delta f \leq 15$ ГГц (Рис. 4.2.14). Мощность СВЧ излучения в локальном максимуме при величине магнитного поля 1,24 Тл и величине тока электронного пучка ~ 25 А составляет ~ 10 кВт.

4.2.8. Заключение по результатам работы ГОЛ-3

На установке ГОЛ-3 продолжают эксперименты, направленные как 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. Дальнейшие планы включают в себя усовершенствование источника электронного пучка, создание нового источника предварительной плазмы и системы инжекции нейтральных пучков.

4.3. ТЕОРИЯ ПЛАЗМЫ

4.3.1. Альфеновская ионно-циклотронная неустойчивость.

В работах Ю.А. Цидулко, И.С. Черноштанов, тезисы XXXIV Международной конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, (2012) и I.S.Chernoshtanov, Yu.A.Tsidulko, In Proc. of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma confinement, Tsukuba, Japan, August 27-31, (2012), исследуются условия развития альфеновской ионно-циклотронной (АИ) неустойчивости в газодинамической ловушке с плещущимися ионами.

Возбуждение АИ неустойчивости вызывается инверсной заселенностью траекторий резонансных частиц, для которых продольная скорость удовлетворяет условию циклотронного резонанса $v_{||res} \approx (\omega - \Omega_{ci})/k$. В случае наклонной инжекции суммарный вклад от всех резонансных частиц оказывается дестабилизирующим лишь в области инжекции $v_{||inj} \approx v_{||res}$, что дает экспериментально проверяемую связь длины волны неустойчивого возмущения со средней продольной скоростью инжектируемых частиц и частотой. Граница устойчивости сильно зависит от деталей инжекции, в частности, от углового и энергетического разброса инжектируемых частиц. Основной вклад в плотность и давление плазмы дают частицы “хвоста”, образующиеся при торможении и рассеянии инжектируемых частиц. Детали функции распределения в области хвоста слабо влияют на границу устойчивости, важен лишь интегральный вклад.

Другая учитываемая особенность задачи - возможность диссипации волны на периферии плазменного шнура, которая может приводить к существенному повышению порога устойчивости.

Используемая аппроксимация функции распределения позволяет как учесть особенности инжекции, так и находить аналитическое продолжение дисперсионного соотношения в комплексные плоскости z , r , w и k . Последнее необходимо для поиска границы абсолютной неустойчивости и точек “остановки” волны в WKВ методе.

Согласно предварительным данным (экспериментальное изучение еще продолжается) основные предсказания теории согласуются с экспериментальными результатами (P.A. Bagryanskiy et al. In Proc. of 9th International Conference on Open Magnetic Systems for plasma confinement, Tsukuba, Japan, August 2012).

4.3.2. Развитие теории электронно-циклотронного нагрева.

Аналитически и численно исследованы особенности распространения электромагнитных волн

электронного циклотронного диапазона частот в окрестности поверхности электронного циклотронного резонанса в линейной ловушке при учете неоднородности модуля и направления магнитного поля. Продемонстрировано, что неоднородность направления магнитного поля может качественно изменить картину распространения волн и заметно сказаться на эффективности электронного циклотронного нагрева плазмы в прямой магнитной ловушке. Найдены условия, когда точка резонанса на оси ловушки является аттрактором лучевых траекторий.

В качестве примера использования общей теории были найдены условия, благоприятные для электронного циклотронного нагрева в установке ГДЛ.

4.3.3. Теоретические исследования механизмов генерации электромагнитного излучения в турбулентной плазме.

Проведены вычисления мощности электромагнитного излучения турбулентной замагниченной плазмы в процессе её нагрева мощным электронным пучком. Показано, что модель сильной ленгмюровской турбулентности вместе с предположением о постоянстве мощности накачки позволяет связать экспериментально наблюдаемые на установке ГОЛ-3 вспышки излучения с отдельными актами коллапса. Обнаружено, что измеряемая в эксперименте мощность излучения по порядку величины согласуется с теоретическим расчетом, учитывающим те процессы спонтанной генерации электромагнитных волн, которые происходят в длинноволновой области турбулентности.

Проведены оценки максимально достижимой мощности генерации терагерцового излучения в системе плазма-пучок при параметрах, характерных для экспериментов на установке ГОЛ-3, и показано, что плотность мощности электромагнитного излучения вблизи второй гармоники плазменной частоты может достигать значения 1 МВт/см³. Эффективность конверсии энергопотери пучка в излучение при этом составляет 1%.

4.3.4. Изучение двумерных эффектов на нелинейной стадии пучково-плазменного взаимодействия.

С помощью двумерного электромагнитного PIC (Particles In Cells) кода проведено моделирование нелинейной стадии взаимодействия электронного пучка малой плотности с плазмой. Исследованы особенности формирования когерентных структур в фазовом пространстве пучка в условиях возбуждения широкого спектра колебаний, а также изучено влияние внешнего магнитного поля на сценарий их нелинейной эволюции. В изотропной плазме в ус-

ловиях доминирования косых неустойчивостей обнаружен нелинейный механизм раскачки филаментационных возмущений, а также идентифицированы механизмы нарастания вторичных неустойчивостей, возникающих в системе после формирования квазистационарной нелинейной ВГК волны. Показано, что в слабом магнитном поле поток энергии из первоначально неустойчивых волн идет на возбуждение более коротковолновых преимущественно продольных колебаний, а в сильном поле на возбуждение вистлеров с косым распространением.

4.3.5. Оптимизация реактора на основе открытой ловушки.

Дальнейшее развитие программы открытых ловушек в ИЯФ требует анализа её перспектив, в частности, образа конечного продукта развития - термоядерного реактора, который может быть создан в рамках данной программы. Значительный прогресс в параметрах плазмы открытых ловушек сочетается с существенным отличием их рабочих режимов от амбиполярного удержания, так что многие проработки амбиполярных реакторов утратили актуальность. Многопробочные и газодинамические ловушки рассчитаны на работу с плотной плазмой в достаточно длинной системе. Основываясь на известных формулах удержания, построена приближённая математическая модель реактора с термоядерным горением плазмы. Состав плазмы рассчитывается самосогласованно, в соответствии с выбранным топливным циклом и выгоранием топлива. В качестве целевой функции при оптимизации использовалась длина реактора, поскольку его стоимость растёт с длиной. Модель позволила определить особенности магнитной и других подсистем оптимального реактора, которые следует разрабатывать и тестировать в экспериментах. Оценки показывают, что реакторы на основе газодинамического многопробочного удержания при существующих технологиях должны быть от сотен метров (DT-цикл) до трёх километров в длину (DD-цикл), однако при этом радиус плазмы может быть весьма малым, порядка десяти сантиметров. Такая геометрия обуславливает существенные отличия открытых систем от тороидальных – на порядок меньшую минимальную мощность, меньшую тепловую и нейтронную нагрузку на первую стенку, что снижает требования к конструкционным материалам и эксплуатационные расходы.

4.4. ИНЖЕКТОРЫ ПУЧКОВ БЫСТРЫХ АТОМОВ И ИОНОВ

4.4.1. Инжекторы пучков быстрых атомов.

Закончена разработка диагностического инжектора атомов водорода для нового стелларатора Wendelstein 7-X, который в настоящее время строится в Германии. Ионный источник инжектора формирует пучок с током до 8,5 А и энергией 60 кэВ. Длительность импульса пучка до 10 сек с различным режимом модуляции пучка.

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. Проект основан на раздельном формировании и ускорении пучка отрицательных ионов. Завершено детальное конструирование основных элементов инжектора. Ведется сборка прототипа источника отрицательных ионов водорода. Подготовлен экспериментальный стенд для исследования формирования в источнике интенсивного пучка отрицательных ионов водорода с энергией 120 кэВ. Стенд оснащен современным электротехническим и вакуумным оборудованием.

4.5. УСТАНОВКА ГДМЛ-Т

4.5.1 Концептуальный проект установки ГДМЛ-Т.

Новые результаты по физике удержания плазмы в осесимметричных открытых ловушках, полученные на действующих в ИЯФ СО РАН плазменных установках ГОЛ-3 и ГДЛ, позволили разработать концепцию открытой ловушки нового поколения для удержания плазмы с термоядерными параметрами. Установка, получившая название ГДМЛ (газодинамическая многопробочная ловушка) представляет собой пробкотрон с многопробочными торцевыми секциями, в котором с помощью системы мощной нейтральной инжекции формируется популяция плещущихся быстрых ионов (Рис. 4.5.1). Удержание плазмы в сверхпроводящих многопробочных торцевых секциях происходит вследствие стимуляции рассеяния вылетающих из ловушки ионов за счёт возбуждения колебаний плазмы электронными пучками, инжектируемыми с торцов установки.

Создание установки нового поколения требует решения целого ряда сложных инженерно-физических задач, поэтому предполагается разделение работ по созданию установки на несколько этапов, в рамках которых будут созданы и протестированы отдельные критические элементы и системы проектируемой установки. В качестве первого этапа предполагается создание установки ГДМЛ-Т, представляющей собой многопробочную торцевую секцию установки ГДМЛ с выходным расширителем и генератором электронного пучка. Кроме научных задач, непосредственно связанных с разработкой новой открытой ловушки для термоядерных иссле-

дований, такая установка может служить эффективным и востребованным стендом для проведения экспериментов по взаимодействию мощных потоков плазмы с поверхностью и тестированию элементов плазмоприемников термоядерных установок.

Схема установки ГДМЛ-Т показана на рисунке 4.5.2. Центральной частью установки является сверхпроводящий соленоид, представляющий собой прототип торцевой секции установки ГДМЛ. К центральному соленоиду пристыковываются расширительный танк с генератором электронного пучка и тестовая камера, предназначенная для установки исследуемых образцов. В одном из диагностических промежутков центрального соленоида размещается система создания стационарного плазменного потока на основе геликонного СВЧ разряда на частоте 915 МГц, генерирующая плазму с плотностью до 10^{20} м^{-3} и температурой 1-10 эВ, что позволяет получить на образце площадью 7 см^2 плазменный поток с плотностью мощности до 10 МВт/м^2 и плотностью потока частиц 10^{24} м^{-2} . Дополнительный импульсно-периодический нагрев плазмы с помощью инжекции электронного пучка (100 кэВ, до 100 А) приводит к стократному увеличению плотности мощности на мишени в течение времени инжекции 1-5 мс, что позволяет моделировать воздействие плазмы на диверторные пластины токамака реакторного класса в режимах работы с импульсно-периодическими нагрузками (ELM-mode). В качестве альтернативного способа создания импульсно-периодических нагрузок рассматривается система электронно-циклотронного нагрева плазмы на основе гиротронов.

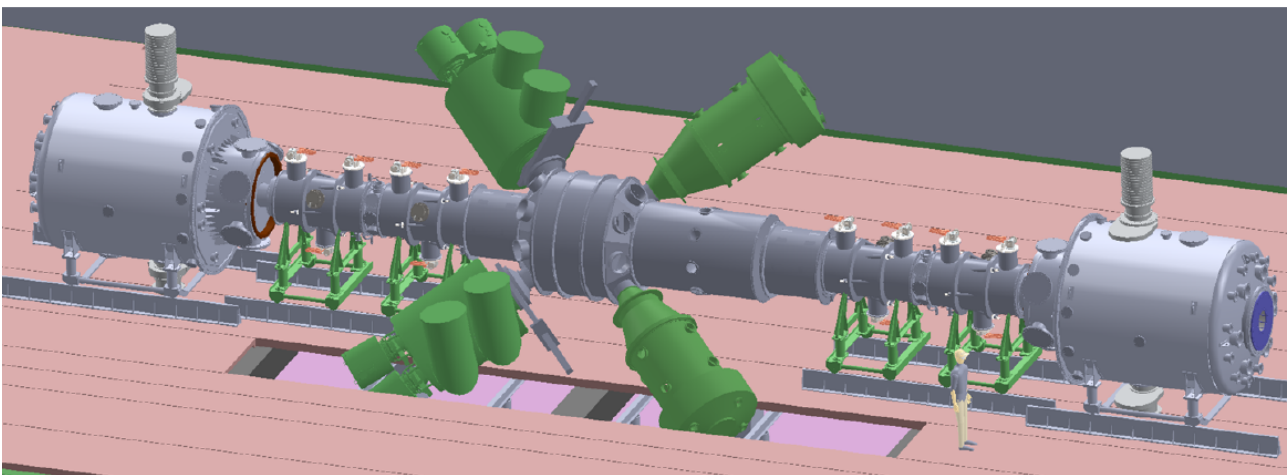


Рис. 4.5.1. Установка ГДМЛ.

4.5.2. Сверхпроводящая магнитная система.

Магнитная система установки состоит из трех идентичных сверхпроводящих соленоидов с длиной 1,6 м и апертурой 160 мм. Дополнительные теплые катушки используются для формирования относительно слабых магнитных полей в области генератора электронного пучка. Конструкция соленоида основывается на разработках ИЯФ СО РАН в области создания сверхпроводящих элементов для источников синхротронного излучения. В частности, современные подходы и достижения в области криогенной технологии позволяют уменьшить теплоприток в криостат и радикально уменьшить расход жидкого гелия, что позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы, связанные с использованием сверхпроводящих элементов.

Возможные конфигурации магнитного поля установки ГДМЛ-Т показаны на рисунке 4.5.2. Поскольку предполагается, что разработанные соленоиды будут в дальнейшем использованы в качестве концевых секций установки ГДМЛ, в соленоидах реализована возможность получения как гофрированного, так и квазиоднородного поля. Каждый соленоид включает в себя две обмотки – внешнюю, создающую основное постоянное магнитное поле, и внутреннюю, состоящую из семи подсекций с встречным подключением соседних подсекций, позволяющую сформировать многопробочное магнитное поле.

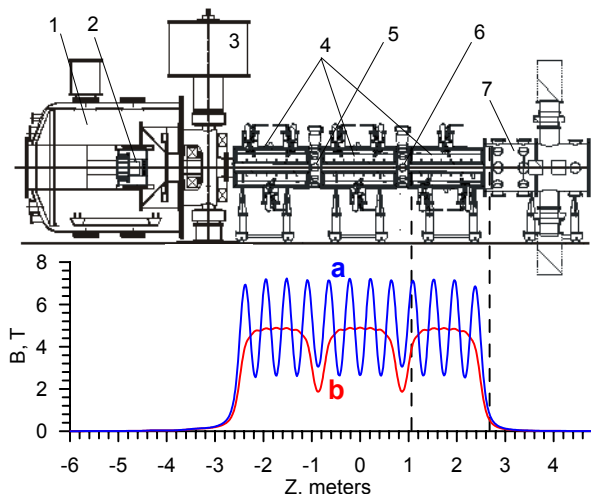


Рис. 4.5.2. Сверху – схема установки ГДМЛ-Т; 1 – расширительный танк, 2 – генератор электронного пучка, 3 – крионасос, 4 – сверхпроводящие соленоиды, 5 – диагностический промежуток I с системой создания стационарной плазмы, 6 – диагностический промежуток II (мишени, система ЭЦР нагрева), 7 – тестовая камера.

Снизу – возможные конфигурации магнитного поля установки; а – многопробочная конфигурация, б – квазиоднородная конфигурация магнитного поля.

При включении обеих (внешней и внутренней) обмоток, соленоид создает многопробочное магнитное поле с максимальным полем 7,2 Тл и пробочным отношением 2,6. Для экспериментов по взаимодействию плазмы с поверхностью более предпочтительной является конфигурация с квазиоднородным полем, которая достигается включением только внешней обмотки соленоида. При этом изменение тока в обмотке третьего (выходного) соленоида позволяет регулировать магнитное поле и, следовательно, плотность мощности на мишени.

4.5.3. Система создания стационарного плазменного потока.

Для получения стационарных разрядов низкого давления широко используются методы высокочастотного нагрева плазмы. В установке ГДМЛ-Т предполагается генерация плазменного потока с помощью геликонного разряда, возникающего при возбуждении быстрых геликонных волн в замагниченной плазме со столкновительным затуханием. В качестве источника СВЧ-мощности может быть использован магнетрон с рабочей частотой 915 МГц. Такие магнетроны, широко используемые в промышленности, отличаются высокой эффективностью, большой выходной мощностью (до 100 кВт) и относительно низкой стоимостью. Моделирование поглощения СВЧ волн в плазме показывает, что на выбранной рабочей частоте система может быть использована для генерации плазменных потоков при магнитных полях 2-5 Тл и плотности плазмы до 10^{20} м^{-3} .

Схема возможной установки геликонной антенны показана на рисунке 4.5.3. Вследствие высокой плотности плазмы и большой величины магнитного поля характерная длина волны в плазме составляет несколько сантиметров, что затрудняет применение антенн традиционных конфигураций (геликонных, седлообразных, типа Нагоя, и т.д.).

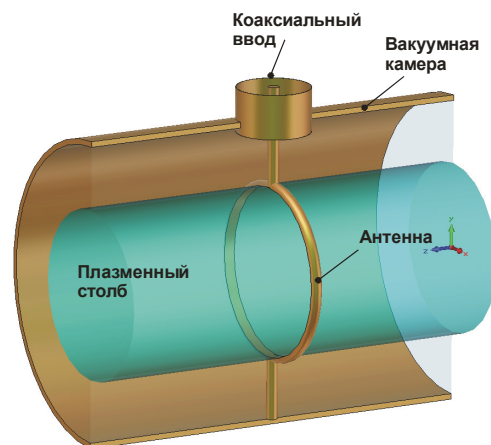


Рис. 4.5.3. Антенный узел системы создания плазмы.

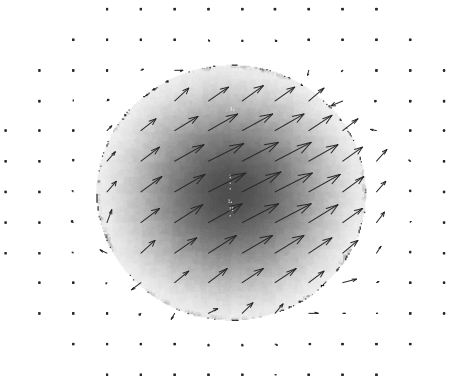


Рис. 4.5.4. Конфигурация электрического поля (стрелки) и величина поглощения СВЧ мощности в плазме за счет столкновений (заливка) для моды $m=+1$ в установке ГДМЛ-Т.

Более перспективной представляется двойная полувитковая антенна. Такая антенна возбуждает симметричную геликонную моду $m=+1$ (m – азимутальное волновое число, знак плюс означает, что волна вращается в сторону вращения замагниченных электронов плазмы). СВЧ мощность передается антенне через коаксиальный ввод с каналом для протока охлаждающей жидкости.

Структура поля и дисперсионные характеристики различных мод колебаний численно моделировались для реальной геометрии установки ГДМЛ при различных параметрах плазмы. В этих расчетах плазма моделировалась как анизотропная сплошная среда с комплексным тензором диэлектрической проницаемости, то есть вакуумная камера установки представляла собой круглый волновод, частично заполненный гиротропной средой. Поперечная структура электрического поля и величина поглощаемой мощности для моды $m=+1$ показана на рисунке 4.5.4. В магнитном поле 2 Тл (соответствующем полю в области расположения антенны) длина волны колебаний для данной моды составляет 2,5 см, а длина столкновительного поглощения – около двух метров, что сравнимо с длиной установки ГДМЛ-Т.

Следует отметить, что данные расчеты не учитывают эффекты возбуждения медленных длинноволновых поверхностных колебаний (моды Трайвелписа-Голда). Эти колебания также могут возбуждаться в геликонном разряде, при этом длина поглощения волн Трайвелписа-Голда составляет несколько сантиметров, что существенно увеличивает общую эффективность нагрева плазмы.

4.5.4. Генератор электронного пучка.

Для экспериментального моделирования импульсных нагрузок на плазмоприемники дивертора токамака ИТЕР необходимо получение на мишенях плазменных потоков с плотностью мощности 0,5-4 МДж/м² за импульс длительностью 0,3-0,6 мс, то есть

система нагрева плазмы должна обеспечивать энерговыход в плазму с мощностью порядка 1 МВт в импульсах миллисекундной длительности со скважностью 100-1000. Такие потоки могут быть созданы несколькими различными способами, в частности с помощью системы нейтральной инжекции или электронно-циклотронного нагрева плазмы с помощью гиротронов.

В качестве основного средства импульсного нагрева плазмы выбран электронный пучок, инжектируемый в плазму через один из торцов установки. Причинами такого выбора являются наличие опыта создания генераторов электронных пучков со сходными параметрами на установке ГОЛ-3, а также важность дальнейшего развития этой технологии для установки ГДМЛ.

Генератор электронного пучка представляет собой многоапертурный вакуумный диод с дуговым плазменным эмиттером. Энергия электронов пучка принята равной 100 кэВ, что представляется оптимальным с точки зрения получения малого углового разброса, эффективности пучково-плазменного взаимодействия и простоты системы питания. Генератор должен располагаться в слабом магнитном поле для уменьшения плотности потока частиц из плазмы. При этом возможная степень сжатия пучка в магнитном поле ограничена угловым разбросом электронов в пучке и составляет $V_{max}/V_0 \sim 200$, что определяет величину магнитного поля в генераторе пучка 0,03-0,04 Тл. В этом случае эквивалентный ток ионов из плазмы в генераторе пучка уменьшается до величины 0,1 А/см². Следует отметить, что это значение тока ионов существенно превышает предел устойчивой работы – 20 мА/см², определенный на установке ГДМЛ в экспериментах с диодами с накаливаемыми эмиттерами.

При этом при указанной степени сжатия плотность тока электронов, необходимая для воздействия на плазмоприемники, составляет 5 мА/см², то есть диод должен работать в неэффективном режиме, при котором основная мощность тратится на ускорение встречного потока ионов. Эта проблема может быть преодолена при увеличении локальной плотности тока электронов за счет филаментации пучка и использования дополнительной быстрой модуляции.

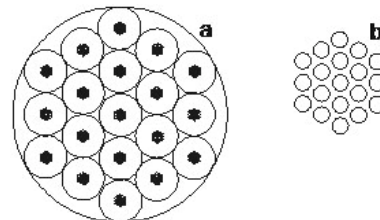


Рис. 4.5.5. Геометрия элементарных ячеек в генераторе электронного пучка.

Исходя из указанных соображений, может быть выбрана следующая конструкция диода. Планарный диод диаметром 50 см состоит из 361 отверстия, объе-

диненных в 19 групп, расположенных в гексагональном порядке внутри отверстия диаметром 34 см (Рис. 4.5.5a). Каждая группа, имеющая диаметр 2 см, запитывается от собственного дугового источника плазмы, и состоит из 19 отверстий, являющихся элементарными ускоряющими ячейками диода (Рис. 4.5.5b). Элементарная ячейка состоит из катодного отверстия диаметром 3 мм и анодного отверстия диаметром 3,6 мм, отстоящих друг от друга на расстояние 15 мм.

Такое расположение отверстий позволяет получить максимальную локальную плотность тока электронов при достаточной равномерности размещения элементарных пучков по поверхности диода и минимальном количестве необходимых дуговых узлов. Следует отметить, что эксперименты на установке ГОЛ-3 показали, что после сжатия в магнитном поле филаментация пучка исчезает, и пучок в сильном поле имеет однородную структуру.

Дальнейшее увеличение плотности тока может быть достигнуто за счет быстрой модуляции пучка. Предварительные эксперименты показали, что такая модуляция со скажностью равной десяти и частотой 10 кГц может быть получена с помощью управления током дугового генератора плазмы.

Дополнительным преимуществом увеличения плотности тока пучка является повышение эффективности пучково-плазменного взаимодействия. Такое взаимодействие сдвигает спектр электронного пучка в область низких энергий, что является предпочтительным для экспериментов по испытанию элементов плазмоприемников. Критическим параметром, определяющим эффективность пучково-плазменного взаимодействия, является отношение концентрации электронов пучка к концентрации электронов плазмы, которое должно превышать величину 10^{-3} . При описанных параметрах пучка плотность тока пучка существенно превышает указанный предел, что позволяет рассчитывать на эффективную передачу энергии от электронов пучка тепловым электронам плазмы.

4.5.5. Заключение.

Реализация проекта установки ГДМЛ-Т позволит создать в ИЯФ СО РАН современный стенд для исследования взаимодействия плазмы с поверхностью, необходимый как для реализации проекта ИТЭР, так и для разработки реактора на основе открытой ловушки. В рамках этого проекта будут опробованы технические решения, закладываемые в проект плазменной установки реакторного класса, а также исследованы физические аспекты удержания плазмы в магнитном поле и взаимодействия мощных электронных пучков с плазмой.

В настоящее время разработан физический проект установки и основных технологических узлов, и ведется подготовка конструкторской документации элементов установки. Начало экспериментов на новой установке запланировано в 2015 году.

4.6. ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИИ ММ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА УСТАНОВКЕ ЭЛМИ

4.6.1. Введение.

На предшествующем этапе исследований по генерации излучения в одноканальном планарном мазере на свободных электронах (МСЭ) с двумерной распределенной обратной связью, выполненных на установке ЭЛМИ, была продемонстрирована генерация 4-мм излучения с уровнем мощности ~ 10 МВт длительностью 300 нс в одномодовом режиме на частоте одной из собственных мод гибридного брэгговского резонатора. Эти результаты легли в основу разработки двухстадийного генератора субмиллиметрового излучения с использованием планарного МСЭ, состоящего из двух каналов с ленточными релятивистскими электронными пучками (РЭП). В первом, низкочастотном, канале такого генератора необходимо генерировать 4-мм излучение аналогично тому, как это было осуществлено в одноканальном МСЭ. При этом генерируемое 4-мм излучение необходимо направлять по волноводам связи во второй, высокочастотный, канал генератора. В этом канале 4-мм излучение будет служить волной накачки для генерации ТГц-излучения с использованием второго ленточного пучка.

До начала реализации экспериментов по двухстадийной генерации терагерцового излучения нами проведены эксперименты по генерации 4-мм излучения одновременно в двух каналах планарного МСЭ. Целью этих исследований было выяснение возможности использования обмена потоками электромагнитного излучения между резонаторами этих двух каналов для достижения синхронизма электромагнитных колебаний в каналах в условиях двумерной распределенной обратной связи.

4.6.2. Схема эксперимента.

Эксперименты по генерации 4-мм излучения проводились в двухканальном МСЭ, схема которого приведена на рисунке 4.6.1. Электродинамическая система каждого из двух идентичных каналов мазера представляла собой планарный гибридный резонатор с зазором между плоскостями стенок 0,95 см и полной длиной 72 см. На входе пучка в резонатор установлен двумерный брэгговский отражатель, а на выходе одномерный. Эти отражатели соединены между собой отрезком регулярного волновода сечением 0,95x8,5 см и длиной 32 см. Входной отражатель образован двумя брэгговскими решетками, представляющими собой плоские параллельные медные пластины с двумерной гофрировкой поверхности в виде квадратных углублений, расположенных в шахматном порядке (Рис. 4.6.1). Период гофрировки поверхности по обоим направлениям - 4 мм, глубина гофрировки - 170 мкм, длина гофрированной поверхности - 20 см. Проведенные «холодные» электродинамиче-

ские измерения показали, что брэгговские решетки с шахматной нарезкой поверхности по своим селективным свойствам близки к решеткам с идеальной двумерной синусоидальной гофрировкой. Как и в случае одноканального МСЭ, для подавления паразитных мод, запертых между стенками закрытого с боковых торцов резонатора, на эти торцы установлены уголко-вые рассеиватели поперечных волновых потоков, возникающих в отражателе, составленном из двумерных решеток. Поскольку основной рост амплитуды электромагнитной волны при накачке ее электронным пучком в резонаторе реализуется после двумерного зеркала, то энергетические потери в генераторе, связанные с указанным выше рассеянием на боковых нерегулярных поверхностях, оказываются достаточно малы. Выходной отражатель состоял из двух одномерных брэгговских решеток с гофрировкой в виде параллельных прямоугольных канавок с периодом 2 мм и глубиной 70 мкм (Рис. 4.6.1). Длина гофрированной поверхности – 20 см.

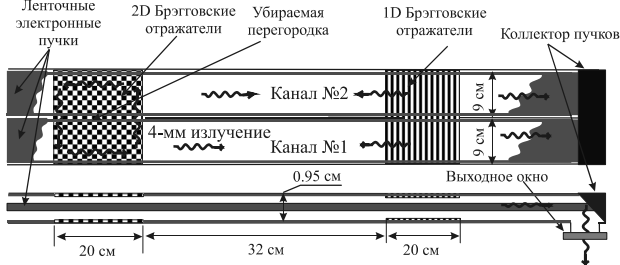


Рис. 4.6.1. Схема экспериментов по генерации мм-излучения в двухканальном МСЭ.

В первой серии экспериментов каналы МСЭ были отделены друг от друга металлическим бруском на всем их протяжении. Но даже при таком разделении двух каналов МСЭ в эксперименте имела место электродинамическая связь между ними за счет рассеяния потоков излучения вблизи коллекторов, предназначенных для поглощения электронных пучков. На наклонной поверхности этих коллекторов осуществляется поворот потоков излучения из каналов для вывода их в атмосферу. При этом была предусмотрена возможность удаления части бруска в области расположения двумерного брэгговского отражателя, с тем, чтобы посредством объединения поперечных потоков излучения в двух каналах обеспечить синхронизацию генерации излучения.

Ленточные электронные пучки генерировались двумя раздельными катодами, установленными в одном общем магнитно-изолированном диоде. При переходе пучков из диода в каналы мазера происходило сжатие их сечения в нарастающем магнитном поле. Далее пучки транспортировались по каналам в этом ведущем магнитном поле на расстояние около 1,5 м. На выходе из каналов сечение пучков плавно увеличивалось за счет понижения напряженности магнитного поля, и затем пучки поглощались графитовыми коллекторами. Как отмечалось выше, поверхность кол-

лекторов была наклонена под углом 45° к направлению распространения пучков в генерирующих каналах, что обеспечило отражение от них потока излучения в сторону окон, предназначенных для его вывода в атмосферу. Далее излучение с помощью медных волноводов круглого сечения диаметром 9 см передавалось в помехозащищенную металлическую комнату, где анализировалось с помощью системы регистрации излучения. Эта система включает в себя детекторы «на горячих носителях» для регистрации поведения во времени мощности излучения в течение импульса генерации и специальный калориметр «TK-power/energy meter» для измерения полной энергии импульса. Кроме того, для измерения спектра СВЧ-сигнала в четырех частотных интервалах была изготовлена четырехканальная спектральная диагностика на основе волноводных полосовых фильтров, а для прецизионных спектральных измерений мы использовали двухканальную гетеродинную диагностику, схема которой представлена на рис. 4.6.2.

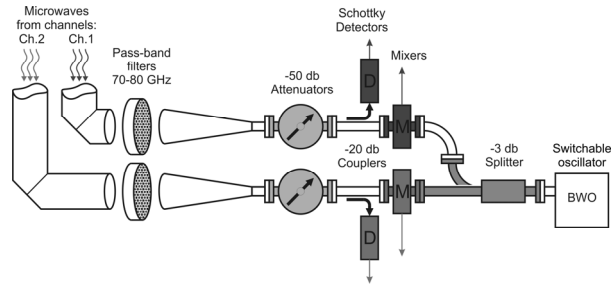


Рис. 4.6.2. Схема двухканальной гетеродинной диагностики.

4.6.3. Результаты исследований.

В первой серии экспериментов по генерации излучения в двухканальном МСЭ нами были измерены зависимости мощности мм-излучения от ондуляторного магнитного поля при нескольких фиксированных значениях ведущего магнитного поля в каналах мазера. В этих экспериментах максимальное напряжение на диоде составляло около 0,8 МВ, токи пучков имели величину 1–3 кА, длительность импульса мм-излучения достигала 0,4 мкс.

Из обработки сигналов, зарегистрированных с помощью четырехканальной спектральной диагностики на основе волноводных полосовых фильтров, было обнаружено, что практически во всех выстрелах данной серии экспериментов основная часть мощности СВЧ-излучения МСЭ (не менее 70%) содержится в спектральном интервале 74,5–75,5 ГГц, в котором находятся частоты собственных мод гибридного резонатора. Остальная часть мощности приходится на интервал частот 77–77,8 ГГц, в котором имеет место паразитная связь основной моды колебаний типа ТЕМ с модой ТМ₂ на одномерной гофрировке выходного брэгговского рефлектора. Полученные в этих экспериментах зависимости мощности излучения в спектральном интервале 74,5–75,5 ГГц от ондуляторной

составляющей магнитного поля при различной индукции ведущего магнитного поля представлены на рис.4.6.3 точками. Для сопоставления с экспериментом на этом рисунке линиями изображены результаты теоретических расчетов.

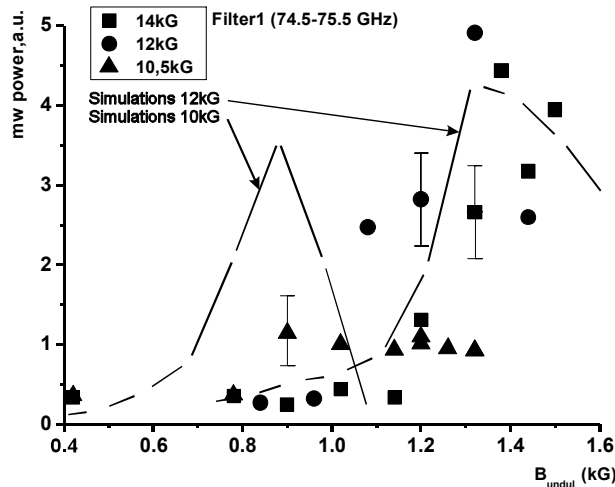


Рис.4.6.3. Зависимости мощности мм-излучения в диапазоне частот 74,5-75,5 ГГц от амплитуды ондуляторного поля.

С помощью СВЧ-калориметра в экспериментах были получены зависимости энергии импульса мм-излучения от ондуляторного и ведущего магнитных полей, аналогичные представленным на рисунке 4.6.3. Типичное значение энергии СВЧ-импульса из каждого канала МСЭ составило 4-6 Дж, что позволило оценить среднюю по длительности импульса мощность мм-излучения – 20-40 МВт.

Использование двухканальной гетеродинной диагностики позволило провести прецизионные измерения спектра излучения МСЭ в различных условиях эксперимента. Эти измерения показали, что при произвольном соотношении ведущего и ондуляторного магнитных полей в спектре излучения, как правило, присутствуют несколько линий, близких к частотам собственных мод резонатора. Однако, если подобрать такое соотношение полей и энергию электронов пучка, чтобы удовлетворялось условие резонанса: $\omega - hv_{\parallel} = \Omega_b$, где $v_{\parallel} = \beta_{\parallel}c$ – продольная скорость электрона, $\Omega_b = 2\pi v_{\parallel} / d_w$ – частота баунс-осцилляций электрона в ондуляторном магнитном поле с периодом d_w , то в эксперименте наблюдается стабильная одночастотная генерация 4-мм излучения. Постоянство энергии электронов пучка вблизи плоской вершины напряжения на диоде способствует быстрому возбуждению одной единственной доминирующей моды в резонаторе. Более того, в таких выстрелах генерация излучения в обоих каналах МСЭ происходила на одной и той же частоте и синхронно по фазе колебаний. Пример осциллограмм сигналов, зарегистрированных в одном из таких выстрелов, представлен на рис. 4.6.4 (а) и в увеличенном масштабе – на рис. 4.6.4 (б).

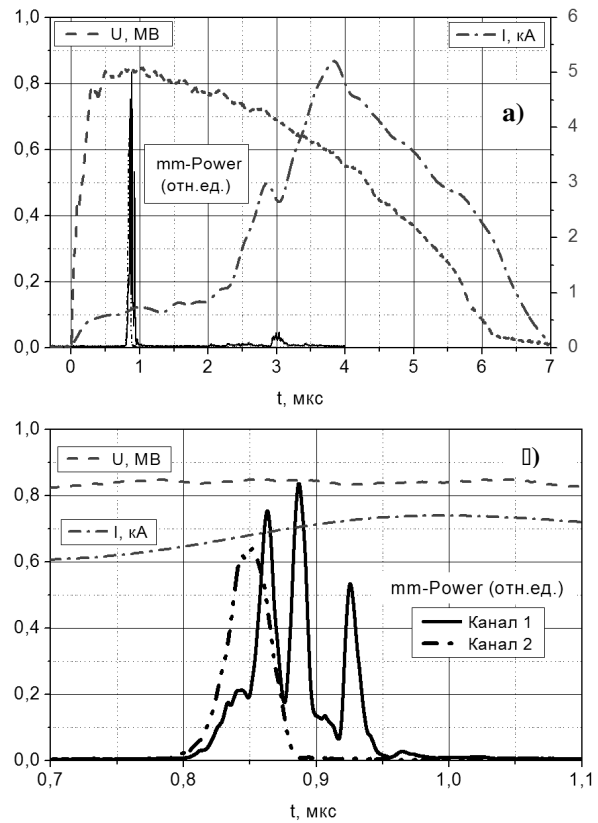


Рис. 4.6.4. Сигналы напряжения на диоде, тока одного из пучков и мощности мм-излучения в области частот 74-75 ГГц в выстреле #7671.

Спектр излучения в этом выстреле демонстрирует стабильную узкополосную генерацию с шириной спектра ~ 20 МГц на частоте одной из мод брегговского резонатора (Рис.4.6.5). Типичная длительность импульса мм-излучения в таких импульсах составляла 100–200 нс, а ширина спектра излучения была близка к естественной ширине.

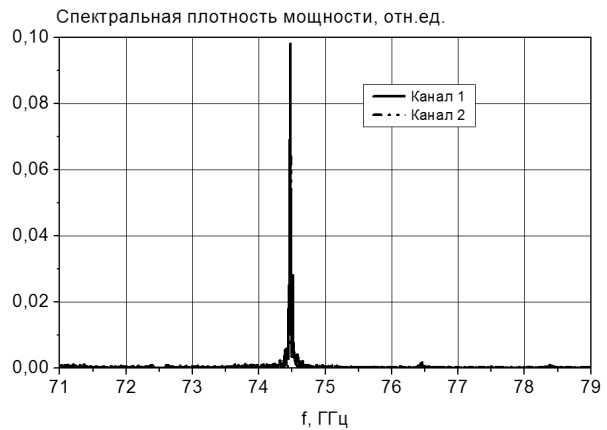


Рис. 4.6.5. Спектр излучения в выстреле #7671.

Как оказалось в результате обработки сигналов во всех выстрелах с одночастотной генерацией мм-излучения, в эксперименте наблюдалась синхронизация электромагнитных колебаний в обоих каналах

МСЭ. Пример такой синхронизации излучения представлен на рис. 4.6.6, на котором приведены сигналы промежуточной частоты со смесителей, регистрирующих излучение из двух каналов МСЭ. По нашему мнению, синхронность генерации мм-излучения в двух каналах МСЭ обеспечивается электродинамической связью между ними за счет рассеяния потоков излучения в той области вакуумных каналов, где происходит поворот потоков излучения для его вывода в атмосферу.

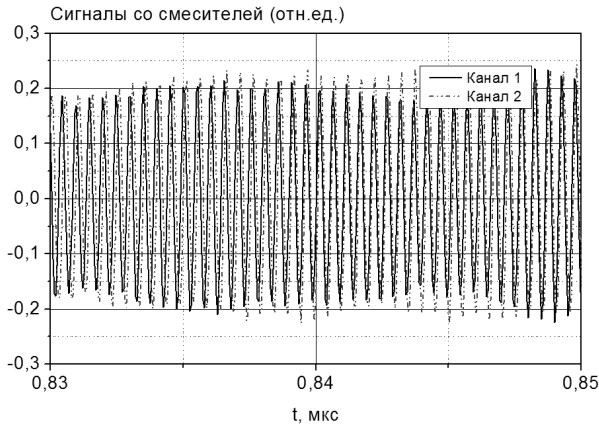


Рис. 4.6.6. Растянутый по времени участок сигналов промежуточной частоты, полученный со смесителей, с помощью которых измерялся спектр излучения в двух каналах МСЭ.

4.6.4. Подготовка экспериментов по двухстадийной генерации терагерцового излучения.

Для осуществления экспериментов по двухстадийной генерации ТГц-излучения нами проводится реконструкция установки ЭЛМИ. Разработаны и изготовлены новая вакуумная камера с новой системой катушек для создания ведущего и ондуляторного полей, а также новый вариант электродинамической системы лазера применительно к двухстадийной схеме генерации. Первые тестовые эксперименты планируется осуществить в режиме однопроходного рассеяния миллиметрового излучения. Схема эксперимента представлена на рисунке 4.6.7.

В канале №1, представляющем собой планарный МСЭ с комбинированным брэгговским резонатором, с помощью первого ленточного пучка производится генерация волны излучения с частотой около 75 ГГц и структурой полей, близкой к ТЕМ-волне. Далее мм-излучение направляется с помощью брэгговского дефлектора в канал №2, где оно конвертируется внутри планарного брэгговского преобразователя (Рис. 4.6.7) из ТЕМ в квазикритическую волну, распространяющуюся с малой групповой скоростью навстречу второму ленточному пучку. Такая волна представляет собой суперпозицию двух плоских волн, распространяющихся практически перпендикулярно направлению движения пучка. Каждая из них рассеивается

электронным пучком с преобразованием частоты из 75 ГГц в диапазон 600–1000 ГГц в зависимости от энергии электронов пучка и выводится из лазера вдоль канала транспортировки через окно в атмосферу. Такая схема рассеяния выбрана для увеличения связи электронов пучка с рассеиваемой волной, а также для уменьшения доплеровского преобразования частоты, чтобы в этих тестовых экспериментах осуществлять измерения спектра рассеянного излучения с помощью имеющейся диагностической аппаратуры. Отметим, что при встречном рассеянии волны на пучке электронов диапазон частот излучения уходит в область 1,5 – 2 ТГц, а измерения в этой области частот требуют использования специальной дорогостоящей аппаратуры.

Для увеличения эффективности двухстадийной генерации данная схема позволяет легко встроить в нее электромагнитный ондулятор, представляющий собой планарный брэгговский резонатор для накопления волны накачки. Кроме того, для селекции мод в канале №2 двухстадийного МСЭ планируется разместить планарный резонатор ТГц-излучения на основе модифицированных брэгговских рефлекторов (МБР). Принцип работы МБР основан на связи квазикритических и распространяющихся вдоль канала волн, которая осуществляется благодаря одномерной гофрировке поверхности рефлекторов. Трехмерное компьютерное моделирование, а также «холодные» измерения показали, что МБР обеспечивают высокую селективность вплоть до поперечных размеров зазора в рефлекторе, превышающих длину волны излучения на порядок величины ($\sim 20 \lambda$). Для работы на частоте 0,6 ТГц нами изготовлены МБР со следующими параметрами: период нарезки боковой поверхности – 0,5 мм, глубина нарезки - 50 мкм.

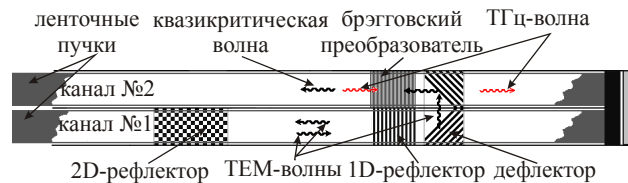


Рис. 4.6.7. Схема электродинамической системы двухканального МСЭ с однопроходным рассеянием 4-мм волны в ТГц-волну.

5

УСТАНОВКИ

СО ВСТРЕЧНЫМИ

ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫМИ

ПУЧКАМИ

5.1. РАБОТА ВЭПП-2000 В РЕЖИМЕ КРУГЛЫХ ПУЧКОВ И ПЛАНЫ МОДЕРНИЗАЦИИ

5.1.1. Круглые пучки на ВЭПП-2000

Общий вид ускорительного комплекса ВЭПП-2000 представлен на рисунке 5.1.1 годового отчета ИЯФ за 2011 год. Диапазон рабочих энергий составляет 0,2–1 ГэВ, максимальная светимость $1 \times 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Основным недостатком коллайдера в настоящий момент является острая нехватка позитронов. При заявленной светимости на энергии 1 ГэВ потери частиц только на светимости составляют 6×10^7 , в то время как существующая система производства позитронов способна обеспечить лишь 2×10^7 позитронов/сек. Это означает, что со всеми прочими коэффициентами перепуска и эффективностями работы системы явно не хватает. Все надежды на будущее коллайдера ВЭПП-2000 в ИЯФ СО РАН связаны с инжекционным комплексом ВЭПП-5.

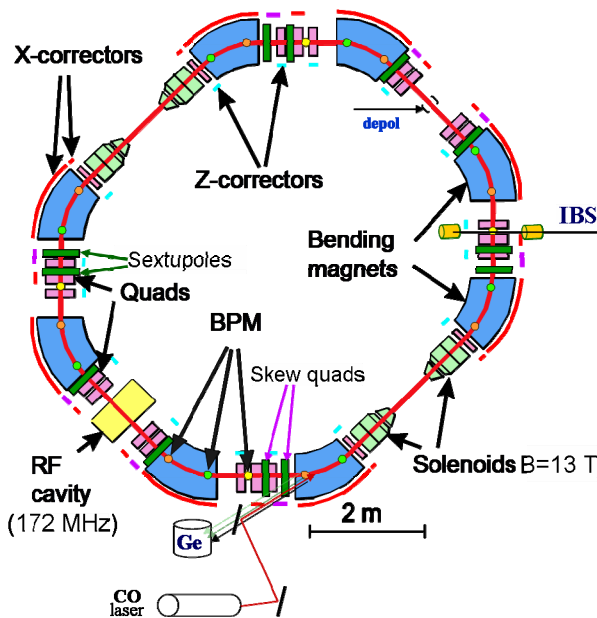


Рис. 5.1.1. Основные элементы коллайдера ВЭПП-2000.

Структура ВЭПП-2000 – это 8 дипольных магнитов, 24 квадрупольных линзы и 4 сверхпроводящих соленоида, которые обеспечивают линейную оптику кольца (Рис.5.1.1). Есть также многочисленные коррекции: 24 горизонтальных, 20 вертикальных, секступольные, скью-квадрупольные коррекции обеспечивают манипуляции с пучком, управление, точную настройку и так далее. Система наблюдения за пучком состоит из 16 ПЗС камер (по 2 в каждом магните), 4 пикапов (по одному в каждом квадранте), измерителей тока, а также ФЭУ. Комплекс оборудован двумя методами измерения энергии – резонансная деполяризация, которая включает в себя 2 тушековских дат-

чика и деполяризатор, и метод обратного комптоновского рассеяния, который активно используется нами в последний год. Коллайдер оборудован двумя детекторами: КМД-3 и СНД, которые являются важными инструментами не только для физики высоких энергий элементарных частиц, но и для настройки работы кольца.

Настройка кольца ВЭПП-2000 состоит из нескольких этапов. Во-первых – это правка равновесной орбиты, которая состоит из такой процедуры: набор матрицы откликов равновесной орбиты на вариацию градиентов линз, SVD анализ, расчет токов коррекций. Нужно провести 2–3 итерации, каждая из которых занимает примерно 10 минут. Затем производится процедура минимизации токов корректоров, после чего мы имеем орбиту в пределах 0,5 мм относительно заданной проектной орбиты. После этого производится настройка оптической схемы кольца: набор матрицы откликов в пикапах и ПЗС камерах на вариацию дипольных корректоров, SVD анализ, коррекция токов элементов (квадрупольи и соленоиды), требуется 3–4 итерации по 10 минут, что существенно лучше, чем было в прошлом экспериментальном сезоне (1 час на итерацию). В первую очередь это связано с установкой новой системы ПЗС камер, которая была проведена в этом году. Такой прогресс позволил считать эту процедуру рутинной, реальная настройка режима работы может занимать несколько часов, вместо нескольких дней в прошлом сезоне. В результате мы имеем ровные размеры, проектную β^* , нулевую дисперсию вне ахроматов. Кроме этого, на кольце производится коррекция связи бетатронных колебаний с помощью трех семейств скью-квадрупольных линз до уровня $\nu_1 - \nu_2 < 0.003$.

Важность правки оптики поясняет рисунок 5.1.2. По сезонам 2010–2011 годов, когда эта процедура не была такой рутинной, до правки оптики светимость была на довольно низком уровне, после правки увеличение составило до 4–5 раз.

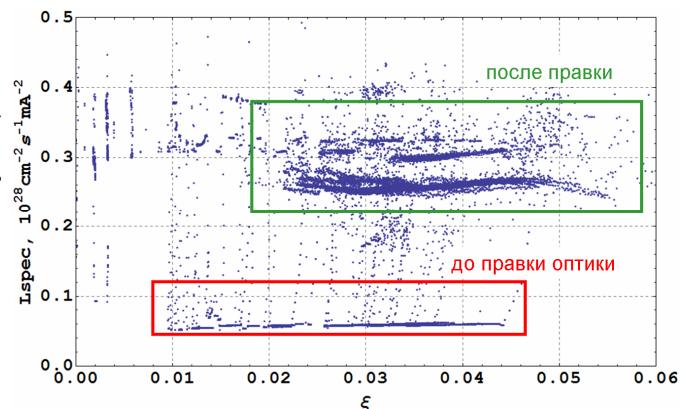


Рис.5.1.2. Зависимость удельной светимости от параметра ξ на энергии 900 МэВ.

Вместе с модернизацией системы наблюдения за пучками (4 новых ПЗС сервера и 16 новых быстрых ПЗС камер, Рис. 5.1.3) была проведена другая модернизация системы управления (Рис.5.1.4): было закуплено новое оборудование для пультовой ВЭПП-2000 (Рис.5.1.5) и введены новые системы измерения энергии по датчикам ЯМР. Введена в эксплуатацию новая система обслуживания пикапов, которая позволила измерять пучки, начиная с самых маленьких токов. Была реализована новая структура программного обеспечения – основная часть – это система ведения журналов, которая позволяет записывать все параметры работы ускорительного комплекса в журнал и в случае каких-то неполадок анализировать, а также восстанавливать те режимы работы, которые были признаны удачными. Система неоднократно показала себя в работе, и мы очень активно ей пользуемся.

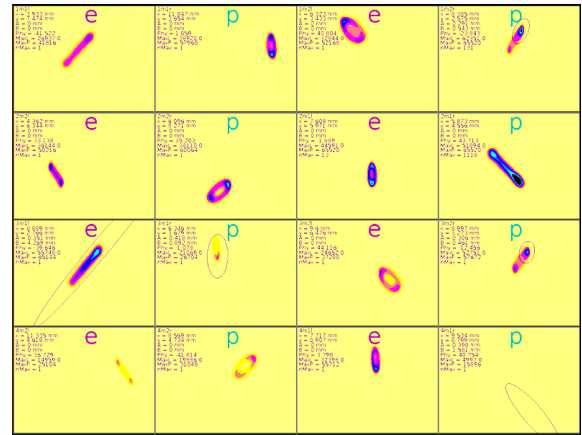


Рис.5.1.3. Изображение пучка со всех 16 ПЗС камер.

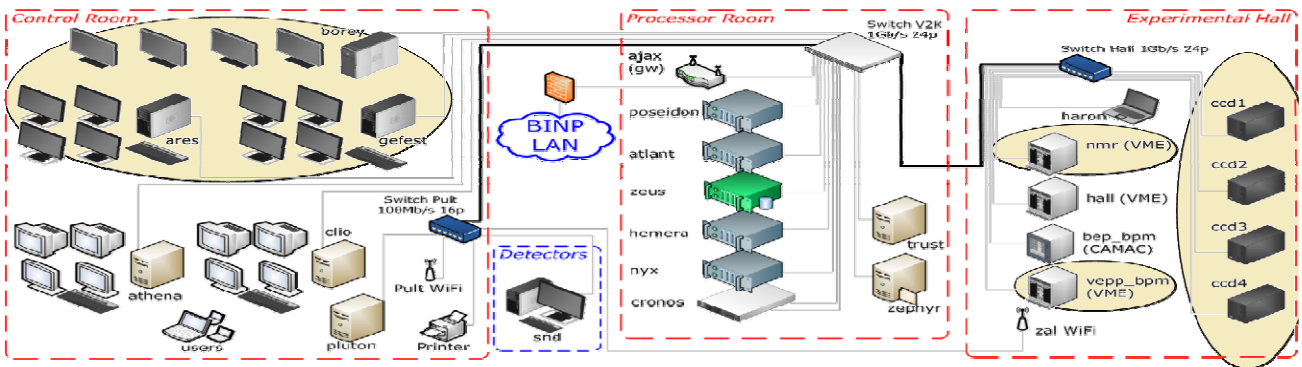


Рис.5.1.4. Схема управления комплексом ВЭПП-2000.



Рис.5.1.5. Пультовая комплекса ВЭПП-2000.

Хронология работы в прошедшем сезоне. Январь 2012 года – настройка ВЭПП-2000, обезгаживание, работа в районе 510 МэВ на СНД. КМД-3 в начале года устранял проблемы с криогенной системой, через месяц они продолжили нормальную работу.

Февраль–март – был установлен лазер системы обратного комптоновского рассеяния и проводился эксперимент HIGH 2012 (510-990 МэВ). В начале была проведена калибровка энергии по ϕ -мезону на энергии 510 МэВ (повторная с двумя детекторами). Но 5 февраля случилась авария – пережог токоввода соленоида 1S1 при заправке, ремонт потребовал 2 недели, затем процедура обезгаживания и процесс выхода на режим работы. В дальнейшем работа шла стабильно.

Наша первая проблема, как уже упоминалось, состоит в нехватке позитронов. Вторая – на высоких энергиях, начиная примерно с 800 МэВ, мы вынуждены работать в режиме ускорения пучка в кольце ВЭПП-2000. Инжекционная часть (БЭП и каналы) хоть и рассчитана на 900 МэВ, в реальности можно работать только до 825 МэВ, потом перепускаться в ВЭПП-2000 и дальше оперировать с пучками там. Тем не менее, это позволило добраться до 990 МэВ, примерный режим работы коллайдера показан на рисунке 5.1.6. В ходе эксперимента было набрано $13,6 \text{ пб}^{-1}$, рисунок 5.1.7.

$$L = 1.061 \times 10^{31} \pm 2.44 \times 10^{30} = 38.18 \text{ nb}^{-1}/\text{hour}$$

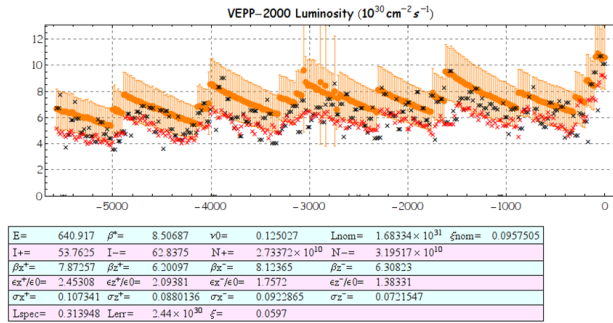


Рис.5.1.6. Регулярная работа коллайдера ВЭПП-2000.

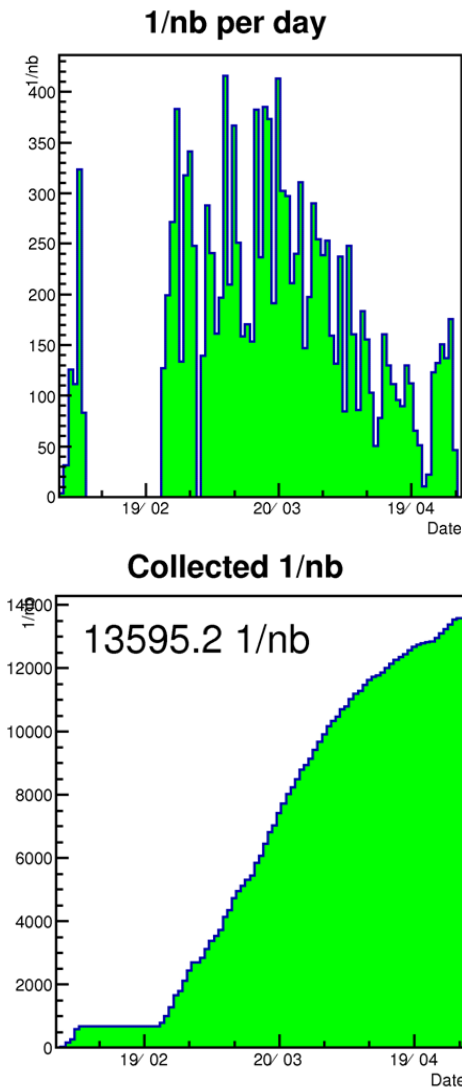


Рис. 5.1.7. Набор светимости в эксперименте HIGH 2012

В это же время были проведены первые опыты с применением системы калибровки энергии по обратному комптоновскому рассеянию. Лазерный пучок встречается с электронным пучком, свет рассеянный назад регистрируется детектором (Рис. 5.1.8). И первые же эксперименты показали вот такой спектр рас-

сеяния (Рис. 5.1.9). Было предложено некоторое объяснение на основе интерференции лазерных лучей из разных точек области взаимодействия с пучком. После чего эти данные были заложены в формулу калибровку энергии, точность определения энергии для представленного графика равна $E=993,662 \pm 0,016$ МэВ. В этом сезоне измерение энергии по методу ОКР тоже является рутинной процедурой.

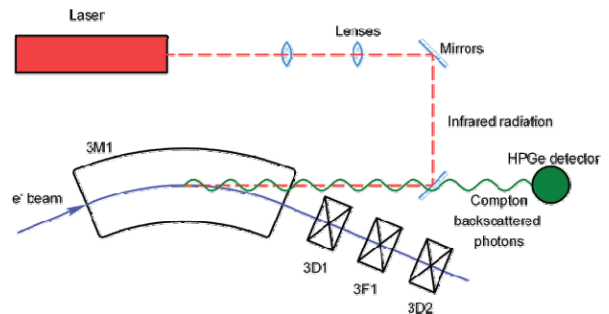


Рис. 5.1.8. Схема ОКР.

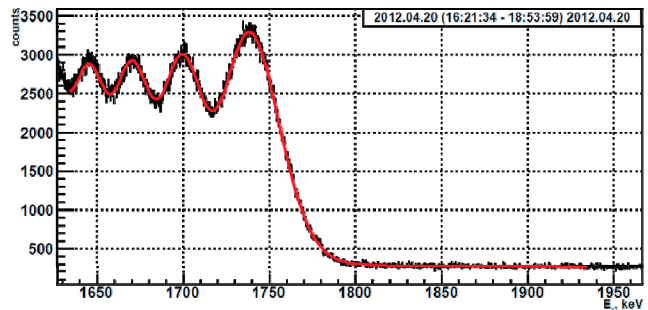


Рис. 5.1.9. Результат калибровки энергии.

В ходе эксперимента проводилось сканирование вверх по энергии до 990 МэВ пучке. Летом 2012 проходила установка дополнительных ИПП в канал БЭП-ВЭПП-2000, что сказалось на скорости и качестве настройки работы каналов перепуска частиц. Сентябрь 2012 – начало работ, модернизация системы управления ускорительного комплекса, системы ПЗС, установка новой электроники пикапов. Октябрь – начало ноября: введение в эксплуатацию новой дистилляторной, геодезические работы, начало работ с круглым пучком (уже в конце ноября), дальнейшая настройка ВЭПП-2000. Была проведена калибровка энергии по ϕ и Ω мезонам (510 и 390 МэВ), набрано 19 точек. С 4 декабря по настоящее время – эксперимент RHO 2012 (диапазон энергий от 490 МэВ и ниже), в настоящий момент дошли до 360 МэВ, набрана статистика в 32 точках, общий интеграл светимости составляет $4,1 \text{ pb}^{-1}$. Набор статистики показан на рисунке 5.1.10, виден равномерный рост, не смотря на понижение энергии, перерыв в наборе связан с Новым годом.

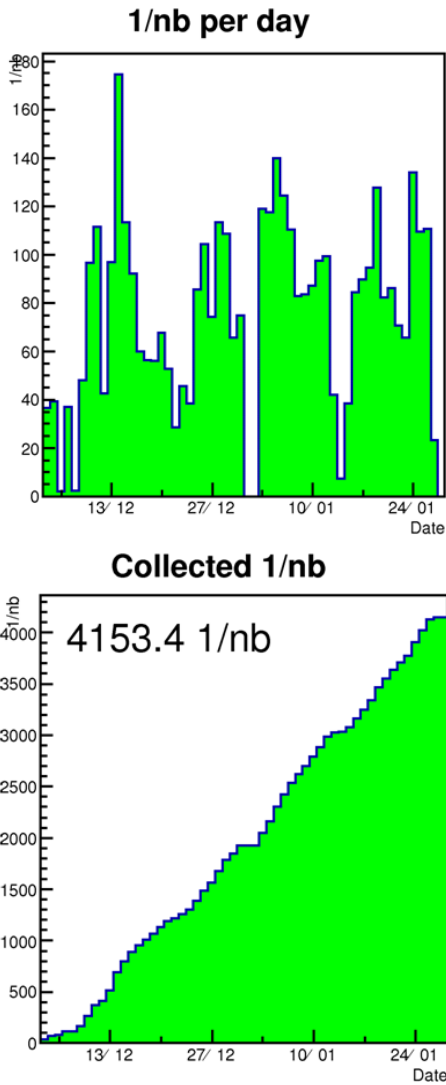


Рис.5.1.10. Набор светимости в эксперименте RHO 2012.

Особенностью работы ВЭПП-2000 при низких энергиях оказалось явление flip-flop – раздувание одного из размеров сталкивающихся сгустков и сжатие другого. Но в случае схемы круглых сталкивающихся пучков это не приводит к драматическому падению светимости коллайдера и позволяет работать на достаточно больших токах и больших удельных светимостях, иметь стабильный рост набранного интеграла светимости, несмотря на снижение энергии. Так выглядят пучки (Рис.5.1.11) – позитроны раздуты, электроны сжаты, но светимость есть.

Зависимость светимости от энергии нашего коллайдера показана на рисунке 5.1.12. Это сводная картинка за все годы, добавлены два новых эксперимента: HIGH 2012 (от 510 МэВ и выше) и эксперимент RHO 2012, когда светимость не снижается с уменьшением энергии. С энергии 640–650 МэВ мы начинаем испытывать недостаток в производстве позитронов, а с энергии 800 (825) МэВ мы вынуждены использо-

вать ускорение и замедление пучков в ВЭПП-2000 для нормальной работы.

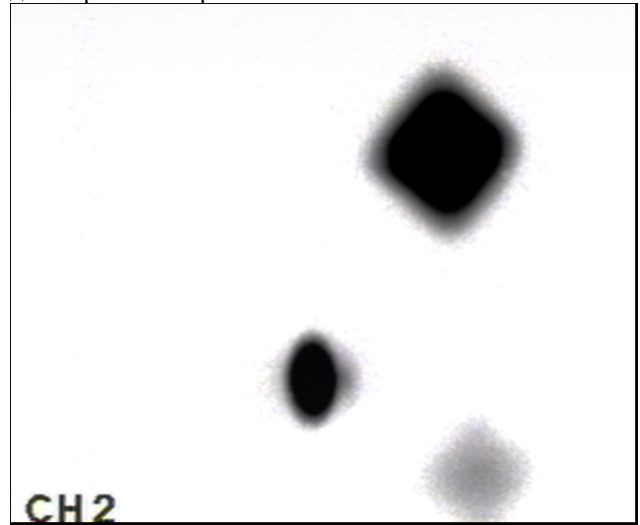


Рис.5.1.11. Влияние эффекта flip-flop на размеры пучков.

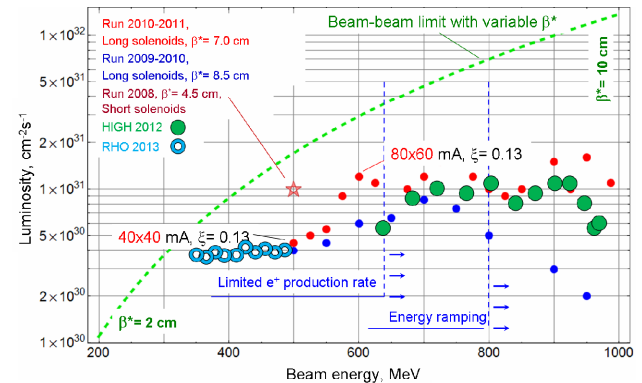


Рис. 5.1.12. Светимость комплекса ВЭПП-2000.

5.1.2. Модернизация БЭП и канал К-500.

Модернизация инжекционной части для перепусков на энергии 1 ГэВ состоит из нескольких этапов. Во-первых, нужны пучки из инжекционного комплекса ВЭПП-5. Во-вторых, нужно построить и ввести в эксплуатацию канал К-500. Третье – требуется модернизация БЭП, чтобы избежать проблем с подъемом и опусканием пучка в ВЭПП-2000. И, конечно, потребуется модернизация канала БЭП-ВЭПП-2000, поскольку он существенно связан с самим БЭП. Также потребуется и подготовка ВЭПП к инжекции на 1 ГэВ.

На канале К-500 в настоящий момент завершён монтаж и произведена предварительная геодезическая выставка всех магнитных элементов, за исключением тех, которые требуют непосредственной разборки старой инжекционной части, с которой мы пока работаем. Завершена прокладка кабельных трасс питания всех элементов, источники питания элементов находятся в активной разработке и производстве. Вакуумная камера тоже завершена, и в настоящий момент ведётся откачка системы. Новый доворачивающий

магнит – это последний элемент канала – находится на выходе из производства. На рисунке 5.1.13 можно видеть собранную вакуумную систему, установленные линзы, магниты, кабели проведены и подключены. Дальше предполагаются работы по включению и настройке.



Рис.5.1.13. Тоннель канала К-500.

Для модернизации БЭП, во-первых, нужен новый ВЧ резонатор на новую энергию. Требуется модификация поворотных магнитов, и первый из них (т.н. 13-й магнит) уже модифицирован и проведено его первое измерение. Кроме того, необходима модификация квадрупольных линз для увеличения градиента и для усиления секступольной компоненты, чтобы иметь возможность поднимать пучки до 1 ГэВ. Потребуется модификация алюминиевой вакуумной камеры, новые элементы БЭП, такие как бамп, феррозонд. Часть этих работ требует полной остановки комплекса ВЭПП-2000 и разборки БЭП. Новый магнит БЭП (Рис.5.1.14), он уже находится в зале БЭП, подключен и первые испытания показали результаты, представленные на рисунке 5.1.15. Модификация этого магнита оказалась не таким простым делом, первоначально предполагалась незначительная доработка. Но в процессе дальнейшей работы оказалось, что магнит должен быть более сильно модифицирован для достижения необходимого уровня поля.

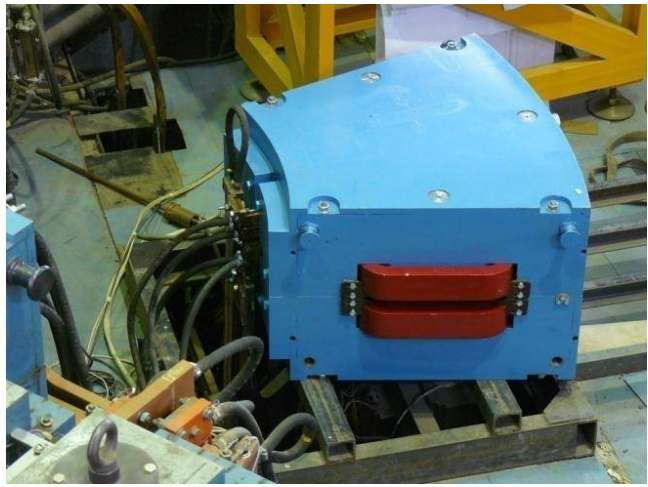


Рис.5.1.14. Новый магнит БЭП.

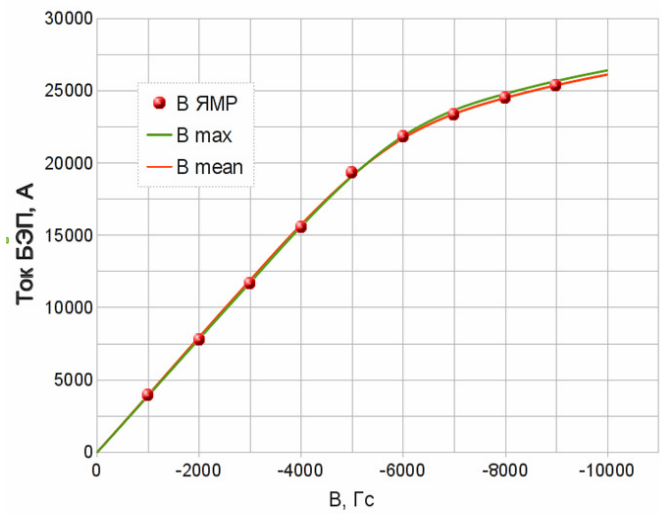


Рис.5.1.15. Магнитные измерения модифицированного магнита БЭП.

Каналы перепуска БЭП–ВЭПП-2000 потребуют изготовления новых магнитов (8 штук), заказ сдан в производство. Также необходима модификация источников питания, предполагается использовать старые высоковольтные источники (после разборки старого канала). Подготовка ВЭПП-2000 для инжекции на 1 ГэВ – это установка дополнительных инфлекторных пластин в магниты рядом с резонатором. Работы ЭП для модернизации БЭП оцениваются в 50000 нормо-часов, но при массовом производстве элементов, возможно, нормо-часы будут снижены.

5.1.3. Резонансная деполяризация на ВЭПП-2000.

Проведен эксперимент по калибровке энергии методом резонансной деполяризации, предварительные результаты показаны на рисунке 5.1.16. Работа проходила в режиме плоского пучка – ВЭПП-2000 без соленоидов и КМД-3. Было сделано 3 захода. Первый

– пробный, чтобы просто увидеть скачок, он проводился с большой раскачкой и с большой скоростью перемещения деполяризатора по частоте. Скачок был зарегистрирован в том месте, где предсказывает измерение по ОКР. Последующие два эксперимента были сделаны более аккуратно при меньшей раскачке и при меньшей скорости перемещения деполяризатора. Зафиксировали скачки, практически совпадающие друг с другом, перемещение происходило сначала справа налево, потом слева направо. При этом отличалось напряжение резонатора ВЭПП-2000, что в случае попадания на боковой резонанс дало бы разные результаты. Из рисунка 5.1.16 видно хорошее согласие измерений как между собой, так и с энергией, которую измерил лазер в методе ОКР.

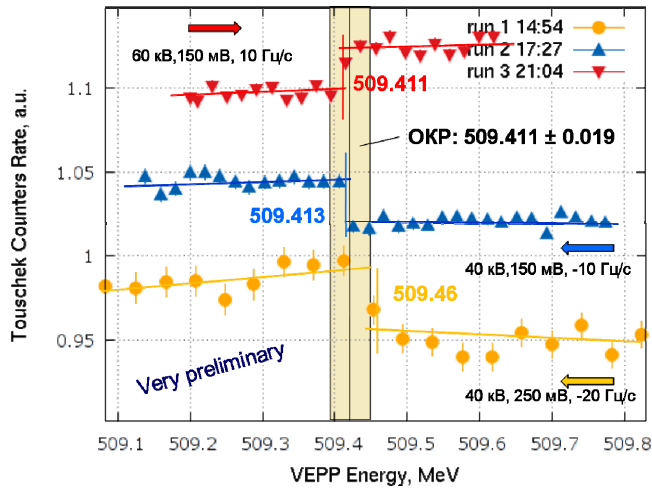


Рис. 5.1.16. Резонансная деполяризация.

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 2012 году продолжалась плановая реконструкция детектора КЕДР, вследствие чего эксперименты по физике высоких энергий на коллайдере ВЭПП-4М не проводились. На рис. 5.2.1 показано распределение времени по различным видам работ на комплексе ВЭПП-4 за 2012 год.

Как видно на рисунке, в этом году рабочее время комплекса распределено главным образом между экспериментами с использованием синхротронного излучения (16,9 % ВЭПП-3 + 1,6 % ВЭПП-4М), а также экспериментом ДЕЙТРОН на ВЭПП-3 (17,4%). Регулярные профилактические работы (1,8%) выполняются еженедельно. Эксперименты по ускорительной физике на ВЭПП-4М проводились в целях отладки системы регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) и развития исследований по проверке СРТ-теоремы. На ВЭПП-4М продолжен также цикл экспериментов с пучком высокоэнергичных γ -квантов, полученных конверсией на внутренней мишени («выведенный пучок»).

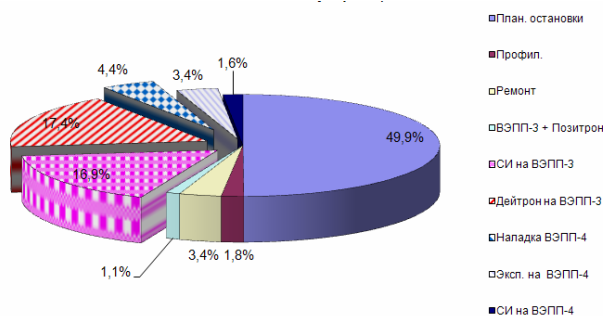


Рис. 5.2.1. Распределение рабочего времени на комплексе ВЭПП-4.

5.2.2. Эксперимент ДЕЙТРОН на ВЭПП-3.

Измерение отношений сечений упругого рассеяния электронов/позитронов на протоне 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. 5.2.2), что позволит повысить точность еще в два раза. Эти работы были продолжены в 2012 году. К 1.04.2012 набран запланированный интеграл светимости, более 100 килокулон. В настоящее время эксперимент завершен и производится обработка набранной статистики.

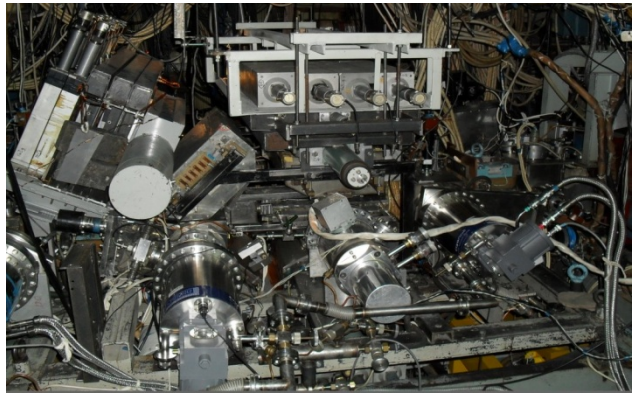


Рис. 5.2.2. Аппаратура эксперимента ДЕЙТРОН на ВЭПП-3.

5.2.3. 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 конверторе. Образующиеся при этом вторичные частицы попадают в оборудованный экспериментальный зал через коллиматор (Рис.5.2.3). Проектные параметры пучков γ -квантов и электронов представлены в таблице 5.2.1.

В марте – мае на выведенном пучке продолжалось начатое в 2011 году тестирование прототипа ФАРИЧ для проектируемой супер с-т фабрики. Наряду с аппаратурой, спроектированной и изготовленной в ИЯФ, проводилось тестирование детекторов, предоставленных фирмой PHILIPS. Планируется продолжение обоих экспериментов в 2013 году.

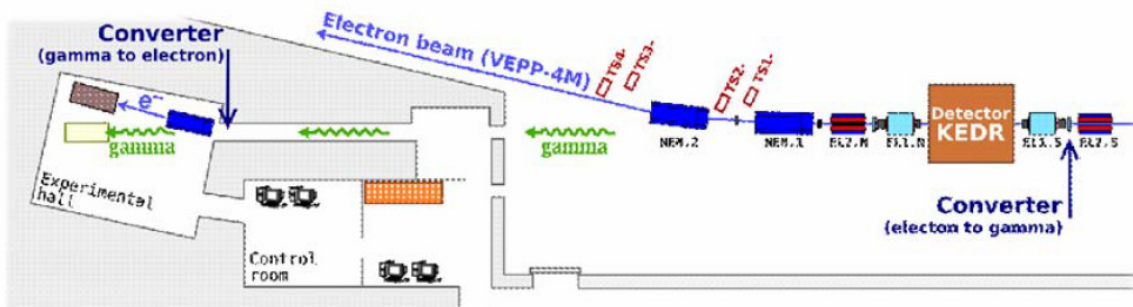


Рис. 5.2.3 Выведенный пучок на ВЭПП-4М.

Таблица 5.2.1. Параметры выведенных пучков γ -квантов и электронов.

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

5.2.4. Система регистрации рассеянных электронов.

Проведена модернизация системы регистрации: добавлены новые двух-координатные Газовые Электронные Усилители (детекторы), изготовлена и запущена сложная система энергетической калибровки, включающая два лазера и точный калориметр на основе BGO. Проведена настройка системы на пучке электронов ВЭПП-4М при энергии $E = 4$ ГэВ. В результате этих модификаций точность измерения параметров двухфотонных событий значительно возрастает, что особенно важно для изучения рождения одинокных псевдоскалярных резонансов.

5.2.5. 7-полюсная «змейка» с полем 3Т.

В 2012 году на ускорителе ВЭПП-4М начаты эксперименты с новым элементом магнитной структуры – 7-полюсным вигглером («змейкой») с полем 3 Т (Рис. 5.2.4).

Излучение змейки через новый канал вывода СИ направляется в экспериментальный зал, где предполагается его использование в разнообразных экспериментах (Рис.5.2.5).

5.2.6. Эксперимент по проверке СРТ-инвариантности.

Эксперимент заключается в сравнении энергий электронного и позитронного пучков коллайдера ВЭПП-4М методом резонансной деполяризации с точностью

лучше 10^{-9} . Для устранения систематических ошибок при измерении энергии требовалось решить проблему разведения пучков в паразитных местах встречи. Для этого предложен способ, позволяющий полностью обойтись без систем электростатического разведения орбит электронов и позитронов на основе воздействия на радиальную орбиту частиц ВЧ сигналом на второй субгармонике частоты обращения. При этом электронный и позитронный сгустки движутся по одной общей орбите, которая замыкается через два оборота. Сгустки встречаются в основном месте встречи, а в паразитном всегда разведены. Система ВЧ-разведения установлена в техническом промежутке ВЭПП-4М и испытана на электронах (Рис. 5.2.6).



Рис. 5.2.4. 7-полюсный вигглер с полем 3Т, установленный в северном полукольце ускорителя ВЭПП-4М.



Рис. 5.2.5. Экспериментальный зал и новый канал вывода СИ.

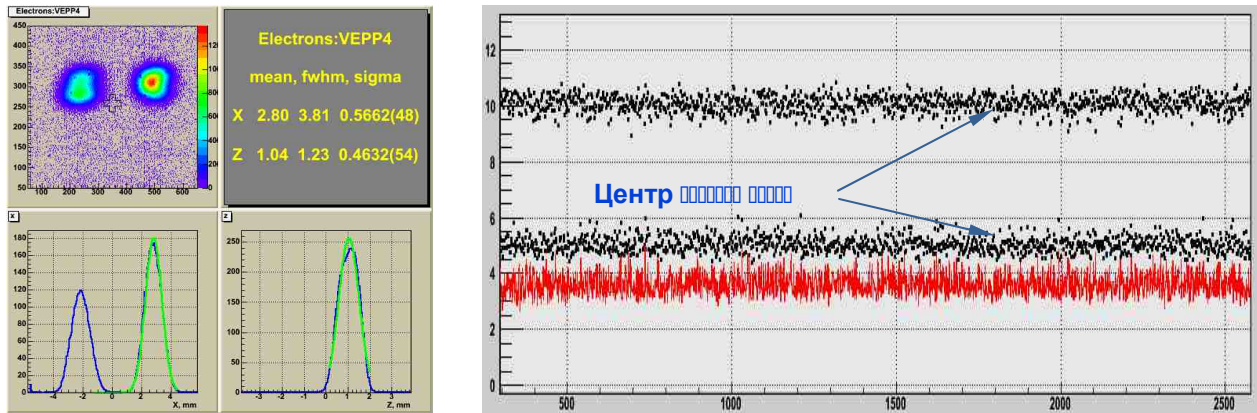


Рис. 5.2.6. Разделение двух электронных банчей при помощи ВЧ-системы. Слева – данные ПЗС-матрицы, справа – положение центра тяжести электронного пучка с поворотным временным разрешением, зарегистрированное многоанодным ФЭУ.

5.3. ИНЖЕКЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ВЭПП – 5

5.3.1. Работы, выполненные в 2012 году.

В 2012 году была завершена модернизация вакуумной системы Инжекционного комплекса, что позволило начать работу мощной СВЧ системы комплекса на максимальных значениях СВЧ мощности всех клистронов, соответствующих проектным параметрам комплекса. На линейном ускорителе электронов старые СВЧ нагрузки ускоряющих структур были заменены на новые, более мощные устройства. Также была заменена вторая ускоряющая структура линейного ускорителя электронов. Ранее на этом месте был установлен опытный образец структуры, который имел ограничения по средней СВЧ мощности, подаваемой на вход структуры. Также была подготовлена к работе с позитронами новая система диагностики пучка в линейном ускорителе позитронов. Данная система включает в себя три выдвигаемых люминофорных датчика, один из которых совмещен с цилиндром Фарадея. Каждый датчик имеет собственную цифровую фотометрическую камеру с внешней синхронизацией, обеспечивающую измерение поперечного распределения интенсивности пучка. В линейном ускорителе электронов проведена настройка фаз СВЧ ускоряющих полей в структурах, необходимая для оптимального ускорения сгустков. Также была проведена модернизация компьютерной системы управления комплексом и части управляющего программного обеспечения. Модернизация системы управления заключалась в замене устаревших системных модулей и мониторов основных управляющих компьютеров на новые и переход на более свежую версию операционной системы LINUX. На текущий момент Инжекционный комплекс работает круглосуточно в наладочном режиме, идут испытания новой системы питания импульсного магнитоконцентратора потока, необходимого для производства позитронов, заканчивается процесс тренировки ускоряющей СВЧ системы четвертого модуля на максимальной СВЧ мощности, кольцо накопителя-охлаждителя готово к приему пучка позитронов.

5.3.2. Работы по изучению кильватерного ускорения.

В экспериментальном производстве ИЯФ СО РАН завершена работа по производству элементов плазменной секции для изучения кильватерного ускорения. Идет подготовка плазменной секции к вакуумным испытаниям в лаборатории. Пучки накопителя-охлаждителя предполагается использовать для экспериментов по плазменному кильватерному ускорению. В настоящее время в соседнем с накопителем-охлаждителем зале строится установка для исследова-

ния плазменного ускорения. Эта установка представляет собой дополнительную транспортную линию для электронных и позитронных пучков, выпущенных из накопителя (см. Рис. 5.3.1). В полном варианте эта установка должна включать в себя систему сжатия пучка, но для начала работы, в первую очередь, планируется запустить упрощенную версию установки, где пучки будут инжектироваться в плазму без сжатия. В таком случае также можно наблюдать существенное изменение энергетического и углового разброса пучка за счет развития поперечной двухпоточковой неустойчивости в плазме).

5.4. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА

5.4.1. Работы, выполненные в 2012 году.

В 2012 году были продолжены работы по совершенствованию разработанных и изготовленных в ИЯФ СО РАН перспективных установок электронно-лучевой сварки, работающих в области электронно-лучевых технологий. В первую очередь (в случае остро фокусированного электронного луча) – для сварки и резки металлов и их сплавов, включая тугоплавкие. В случае не остро фокусированного луча возможно их применение для прогрева материалов до высоких температур и плавки, в том числе толстых слоёв, нанесённых на подложки.

Электронно – оптическая колонна установок может устанавливаться как снаружи рабочей вакуумной камеры, так и внутри ее на манипулятор.

В настоящее время 7 установок электронно-лучевой сварки, работают на предприятиях военно – промышленного комплекса России. В течение прошедшего года велись совместные работы с предприятиями по поддержанию эксплуатации этих установок в штатном режиме и обеспечении их расходными материалами

5.4.2. Разработка вакуумной системы и технологии её производства для электрон-позитронных коллайдеров высокой интенсивности.

Продолжены работы проекту МНТЦ №4022 “Разработка вакуумной системы и технологии её производства для электрон-позитронных коллайдеров высокой интенсивности”:

- изготовлена и смонтирована вакуумная система с рабочим объёмом 4 м^3 , получен рабочий вакуум $3 \cdot 10^{-6}$ торр;
- изготовлен и смонтирован энергоблок, включающий в себя:
 - электронную пушку на 60 кВ с непрерывным или модулированным током 100 мА, совмещённую с системой магнитной оптики;
 - источник высоковольтного питания на 60 кВ;

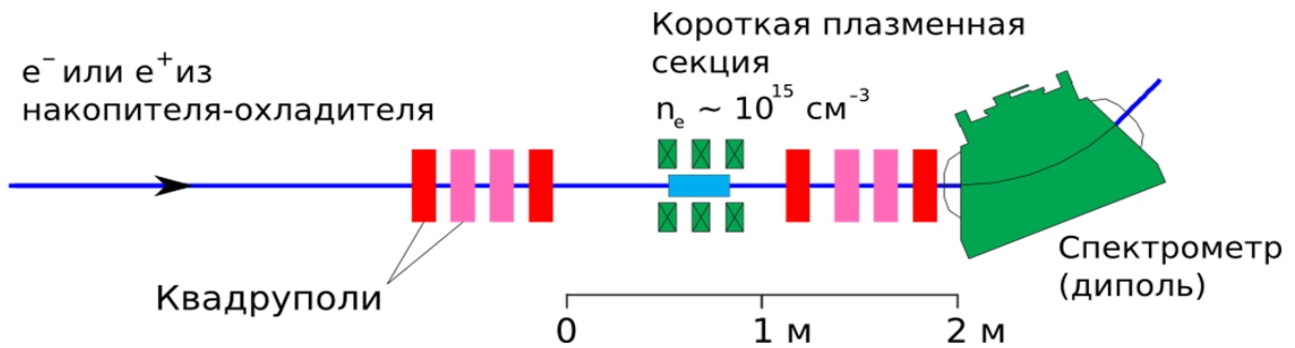


Рис. 5.3.1. Схема первой очереди эксперимента по кильватерному ускорению на Инжекционном комплексе ИЯФ СО РАН (вверху). Короткая плазменная секция (слева внизу). Место для короткой плазменной секции на выпуске пучка из накопителя-охладителя (справа внизу).

- систему питания магнитной оптики;
- систему блокировок и сигнализации;
- систему компьютерного управления через CAN-bus.
- прикатодную электронику, управляющую сварочным электронным током и его модуляцией.

Общий вид установки электронно – лучевой сварки показан на Рис. 5.4.1. Проведены тестовые включения энергоблока совместно с компьютерным управлением и получен электронный пучок.

Для отладки программного обеспечения и процесса сварки по проекту МНТЦ была смонтирована четырёхкоординатная система подвижки свариваемого образца в существующем стенде электронно-лучевой сварки (см. Рис. 5.4.2).



Рис. 5.4.2. Четырёхкоординатная система приводов на шаговых двигателях.

Проведена сварка фрагментов алюминиевой вакуумной камеры электрон – позитронного коллайдера высокой интенсивности (см. Рис. 5.4.3).



Рис. 5.4.1. Установка электронно – лучевой сварки.



Рис. 5.4.3. Фрагменты вакуумной камеры, сваренные в стенде электронно-лучевой сварки.

5.5. ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ ЛИУ-20Р

Проектируемый в ИЯФ СО РАН линейный индукционный ускоритель ЛИУ-20Р является уникальной, не имеющей аналогов в мире установкой, обеспечивающей работу перспективного рентгенографического комплекса РФЯЦ ВНИИТФ. Основной задачей данного ускорителя является формирование мощного высококачественного электронного пучка, пригодного для рентгенографии с субмиллиметровым пространственным разрешением и большой просвечивающей способностью. Все физические и технические решения, примененные при разработке ЛИУ-20Р, нацелены на достижение предельно малых значений фазового объема интенсивного электронного пучка. Это, в свою очередь, обеспечивает предельно малый поперечный размер источника тормозного рентгеновского излучения, и максимально высокое пространственное разрешение данной методики.

Основные физические параметры линейного индукционного ускорителя ЛИУ-20Р представлены в Таблице 5.5.1.

Таблица 5.5.1. Основные параметры ЛИУ-20Р.

Параметр	Значение
Энергия электронного пучка	20 МэВ
Импульсное значение тока электронного пучка	2 кА
Длительность тока пучка	350 нс
Фазовый объем (эммиттанс) электронного пучка на выходе ускорителя (не более)	50 мм·мрад
Количество импульсов в серии	2
Регулируемый интервал между импульсами в серии	3-10 мкс
Максимальная частота повторения серии импульсов	0,1 Гц
Временная нестабильность энергии пучка на протяжении одного импульса	0,5 %

Первоначальное формирование электронного пучка происходит в Инжекторе, который состоит из высоковакуумного диода с низкотемпературным катодом диспенсерного типа и ускоряющей секции. Электронный пучок имеет максимальную энергию 2 МэВ на выходе Инжектора. Дальнейшее ускорение пучка до энергии 20 МэВ производится 30-ю однотипными короткими модулями и 12-ю однотипными длинными ускоряющими модулями. Такое разбиение ускорителя на модули и низкое значение среднего темпа ускорения связано с минимизацией aberrаций поперечной фокусировки пучка в ускоряющей и фокусирующей системе, которая и обеспечивает малое значение фазового объема пучка на выходе ускорителя. Минимизация aberrаций, связанных с нелинейностью дефокусирующего воздействия сил пространственного заряда и токов-образований достигается оптимальным расположением фокусирующих элементов и минимизацией вариаций поперечного размера пучка в ускорителе. Увеличение фазового объема пучка, связанное с неточностью выставки ускоряющих и фокусирующих элементов, постоянно контролируется специальной системой оперативных геодезических измерений геометрии ускорителя. По результатам этих измерений производится коррекция положения смещенных элементов ускорителя. Управление работой всех подсистем ускорителя во всех режимах осуществляется с центрального пульта посредством специализированной системы управления. В итоге, ЛИУ-20Р состоит из шести базовых элементов: инжектора, системы коротких ускоряющих модулей (30 модулей), системы длинных ускоряющих модулей (12 модулей), системы оперативных геодезических измерений, системы управления и системы оперативных измерений и коррекции магнитного поля. Первые три элемента локализованы территориально, последние три равномерно распределены по всему ускорителю. Общая схема ускорителя ЛИУ – 20Р изображена на Рис. 5.5.1.

5.6. КВАДРУПОЛЬНЫЕ ЛИНЗЫ ДЛЯ NSLS-II

В 2009 году был заключен контракт с американской лабораторией Бруксгейвен на изготовление 120 квадрупольных линз для основного кольца источника синхротронного излучения NSLS-II. В 2010 был заключен дополнительный договор на изготовление еще 7-ми линз другого типа.

Всего типов линз было шесть, они в основном отличались длиной ярма и формой боковых проставок (см. Рис. 5.6.1 и Рис. 5.6.2).

Параметры линз приведены в таблице 5.6.1. Требования к качеству поля были весьма высоки. Величина высших гармоник относительно основного поля не должна была превышать от $3 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ в зависимости от номера гармоники.

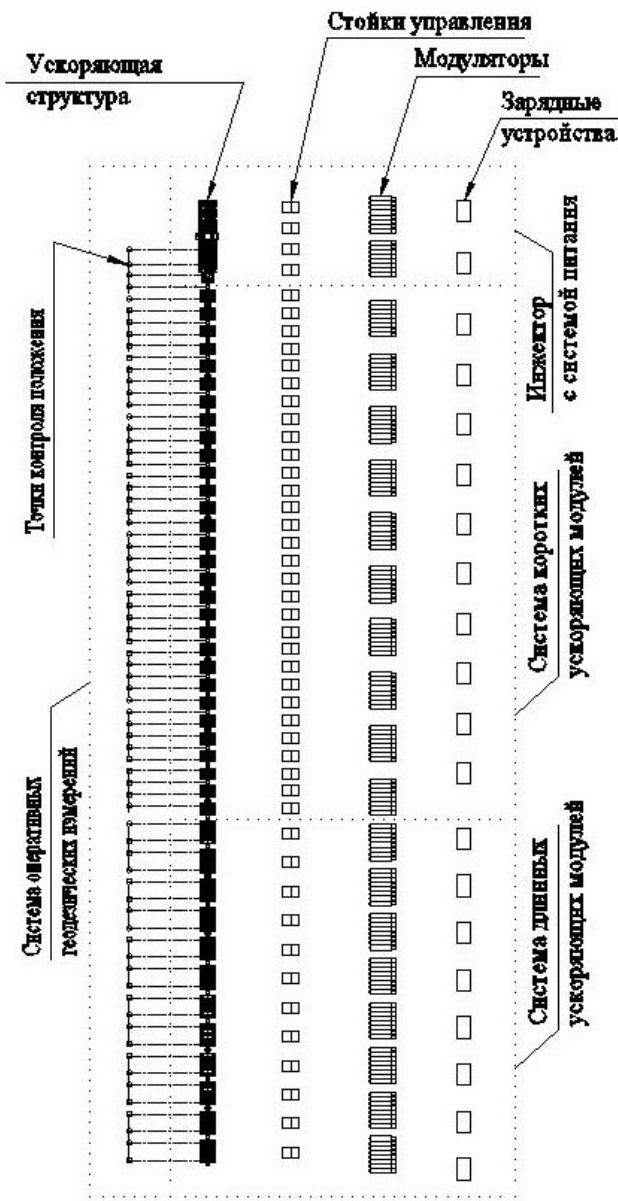


Рис. 5.5.1. Общая схема ЛИУ – 20Р.

Линзы изготовлялись по следующей технологии. Ядро набиралось из пластин толщиной 1 мм. На одной пластине было расположено два полюса.

Пластины производились штамповкой из кремнистой электротехнической стали с низким содержанием углерода марки 1200-100 Power Core. Сталь была получена от фирмы ThyssenKrupp в рулонах с клеевым покрытием. Штамповка осуществлялась последовательно черновым и чистовым штампами. Черновой штамп вырезал пластину с припуском 6 мм, чистовой штамповал в размер. Из готовых пластин набирались и склеивались две половинки ядра линзы. В процессе склеивания ядра корректировались межполюсные зазоры. Затем для каждой половинки зазор измерялся в 20-ти точках вдоль оси линзы. Измерения показали, что на готовых половинках средняя величина межполюсного зазора выдерживается с точно-

стью 20 – 40 мкм, а его однородность вдоль оси линзы в пределах 10 мкм.

Таблица 5.6.1. Параметры квадрупольных линз NSLS II.

	Ед.	Тип 9801 и 9802	Тип 9804 и 9807	Тип 9810 и 9813
Количество		60	60	7
Радиус апертуры	мм	33	33	33
Длина ядра линзы	м	0,217	0,415	0,250
Градиент магнитного поля, максималь-	Т/м	11,2	20,2	21
Ампер - витки	кА	4,9	9,0	9,4

За однородность здесь берется стандартное отклонение от среднего. Далее осуществлялась предварительная сборка линзы и первые измерения гармоник магнитного поля. Затем устанавливались межполюсные вставки и накладки на полюса, с помощью которых осуществлялась точная настройка магнитных полей. После завершения точной настройки магнитных полей линзы отправлялись на стадию окончательного изготовления (обвязка системы водяного охлаждения и питания, установка несущей плиты, окраска и т.п.).

После этого проводились два контрольных измерения гармоник магнитного поля линз, причем измерения до и после пересборки линз (разделения линз на верхнюю и нижнюю часть для имитации установки на ускоритель) должны были соответствовать друг другу и отвечать требованиям ТЗ.

Измерения амплитуд всех гармоник для готовых линз представлены на Рис. 5.6.3.

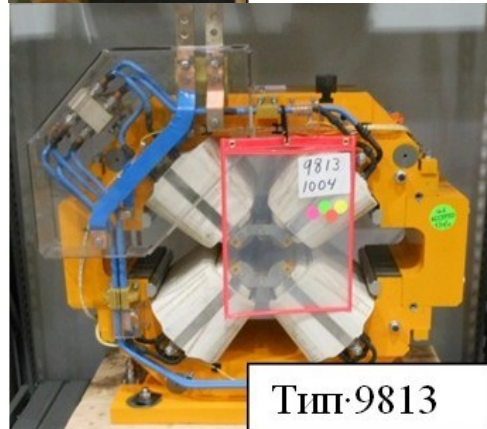
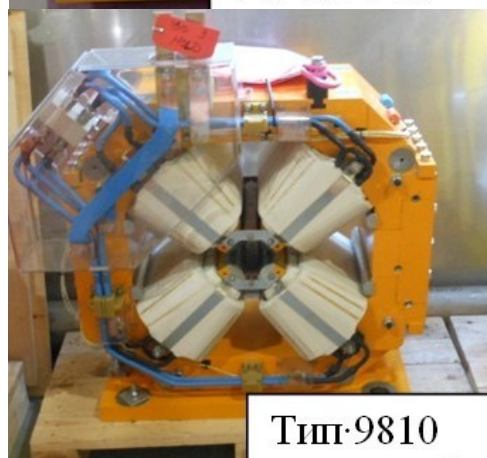
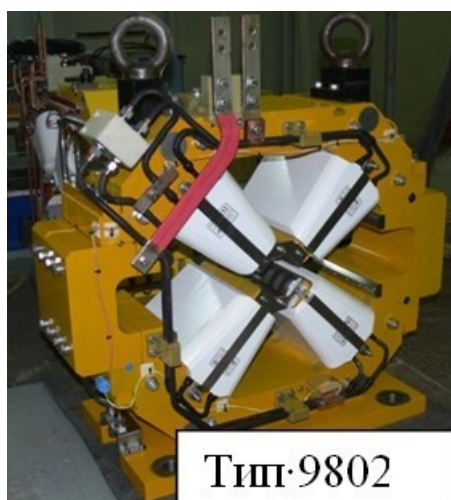
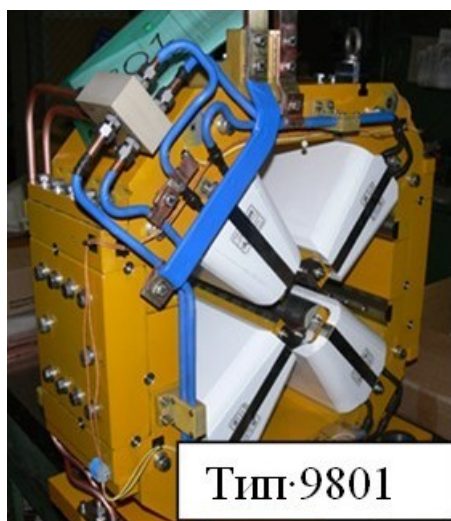


Рис. 5.6.1. Типы линз, изготовленные в ИЯФ СО РАН для основного кольца источника синхротронного излучения NSLS II.

Рис. 5.6.2. Типы линз, изготовленные в ИЯФ СО РАН для основного кольца источника синхротронного излучения NSLS II.

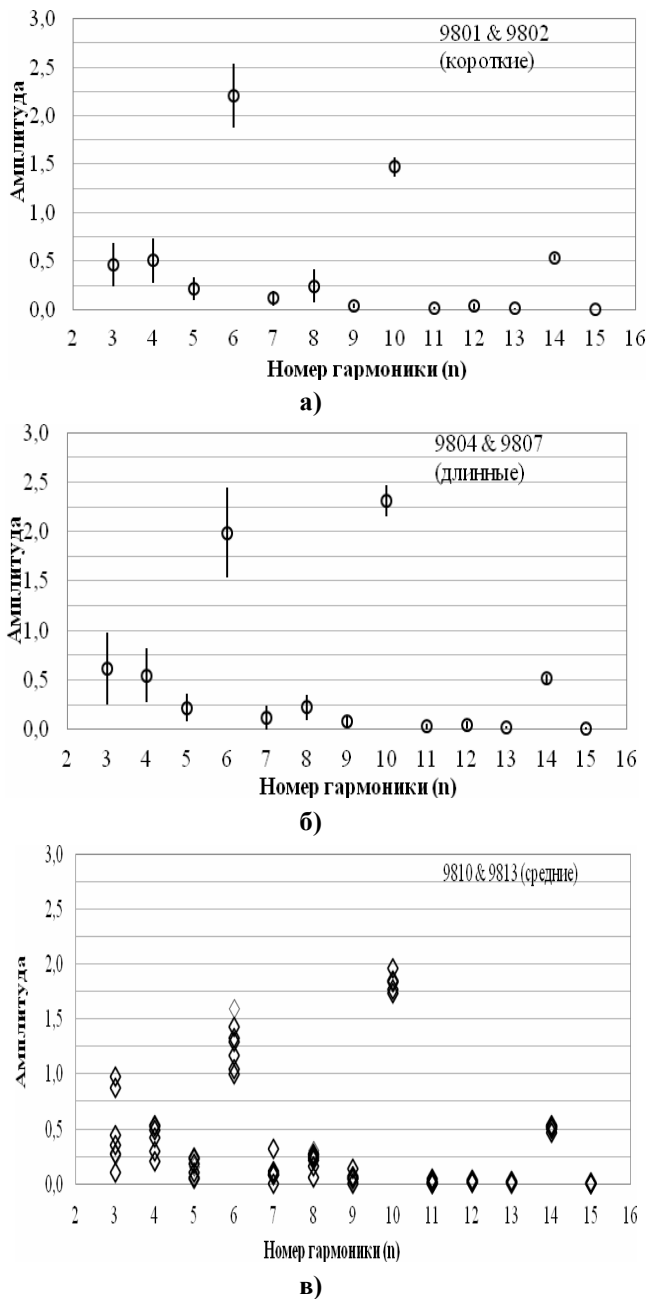


Рис. 5.6.3. Результаты измерения амплитуд гармоник в единицах 10^{-4} относительно основной гармоники: а) статистика по 60-ти коротким линзам, б) статистика по 60-ти длинным линзам, в) измерения семи средних линз.

В мае 2012 года последние линзы были отправлены в Брукхэйвен. Все изготовленные линзы прошли внутренний контроль специалистов БНЛ и были признаны полностью соответствующими требуемым параметрам. Причем качество магнитных полей наших линз было признано лучшим среди всех изготовителей линз для NSLS II. Сейчас там ведется сборка, занимаются этим специалисты БНЛ.



Рис. 2. Сотрудники ИЯФ возле установленных на кольцо NSLS II готовых линз - апрель 2012 года.

5.7. ИМПУЛЬСНОЕ ПИТАНИЕ СИСТЕМЫ ВПУСК – ВЫПУСК ДЛЯ БУСТЕРА NSLS II

В системе впуска пучка в Бустере NSLS II используются четыре кикера с эффективной длиной 200 мм. Два кикера (BU3, BU4) отклоняют пучок в режимах одиночного впуска и накопления. Еще два (BU1, BU2) используются только в режиме накопления. В системе выпуска используется один кикер с сумарной эффективной длиной 800 мм, при этом он состоит из четырех секций длиной 200 мм. Требования к системе питания кикеров впуска-выпуска сведены в таблицу 5.7.1, они определяются задачей обеспечить необходимые параметры импульсного поля в магните заданной конструкции при работе Бустера в различных режимах.

Системы импульсного питания для впуска и выпуска выполнены по одинаковому принципу. Непосредственно под магнитом в кольце Бустера расположен импульсный генератор (Pulser), который включает в себя формирующую линию (ФЛ), тиратрон с блоком запуска, фильтрующие элементы. При запуске тиратрона генератор формирует в шинах магнита импульс тока с заданными параметрами. В системе впуска используется по одному генератору для питания каждого кикера, в то время как для питания одного кикера системы выпуска используются два генератора. Заряд ФЛ каждого генератора осуществляется от своего блока зарядного устройства с управляющей электроникой (PSU). Блоки PSU всех шести генераторов размещены в одной стойке, которая установлена в зоне «service area» Бустера. Блок схема системы импульсного питания представлена на Рис. 5.7.1.

Можно отметить следующие характерные особенности работы генераторов. При разработке генераторов выпуска необходимо было принять во внимание особые требования к стабильности выходного тока и равномерности вершины импульса.

Таблица 5.7.1. Требования к системе питания кикеров выпуска – выпуска.

Наименование	Впуск		Выпуск
	Одиночный выпуск (BU3, BU4)	Режим накопления 2-й импульс (BU3,4 BU1,2)	
Амплитуда тока в шинах магнита, А	1650	1120/795	2300
Амплитуда тока на выходе модулятора, А	3300	2240/1590	4600
Индуктивность секции магнита, нГн	650		650
Эквивалентная индуктивность нагрузки, нГн	162,5		325
Длительность плоской вершины импульса, нс	310		310
Длительность переднего фронта, нс	<210		<210
Длительность среза, нс	<210		-
Стабильность тока нагрузки (включая колебания на вершине импульса)	±0,5% (включая колебания на хвосте импульса)		±0,2%
Волновое сопротивление ФЛ, Ом	5,9		4,4
Максимальное зарядное напряжение ФЛ, кВ	20		21
Амплитуда напряжения на шинах магнита, кВ	15		20

Равномерность вершины определяется точностью настройки волнового сопротивления отдельных ячеек формирующей линии, в итоге была получена равномерность вершины импульса поля выпускного кикера в пределах ±0,09%. На стабильность тока влияние оказывают такие параметры, как температурный уход параметров различных элементов генератора и нестабильность падения напряжения на тиратроне при коммутации тока. Температурный уход можно отследить и скомпенсировать изменением зарядного напряжения. Нестабильность падения напряжения на

тиратроне является вероятностной величиной и в целом укладывается в допустимые пределы. В результате проведенных измерений было установлено, что среднее квадратичное значение отклонения тока выпускного кикера от заданной величины не превышает $3 \cdot 10^{-4}$.

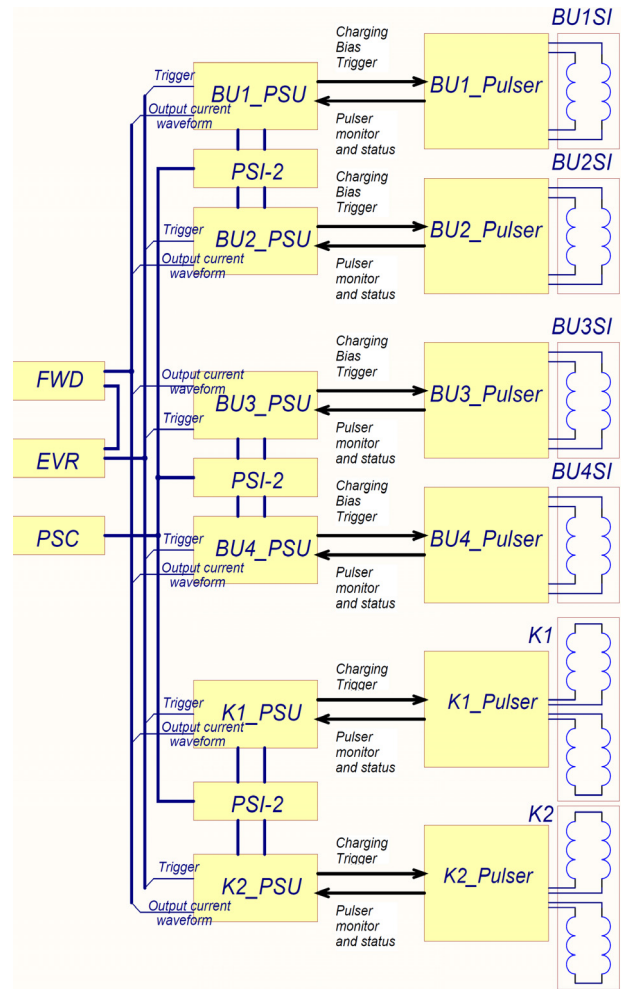


Рис. 5.7.1. Блок схема импульсного питания кикеров системы выпуска-выпуска.

Особенностью генераторов системы выпуска является требование минимизировать амплитуду колебаний тока на хвосте импульса. Для решения этой задачи в схеме генератора был использован насыщающийся магнитный дроссель, включенный последовательно с тиратроном. Благодаря «диодным» свойствам дросселя удалось снизить амплитуду колебаний на хвосте импульса поля выпускных кикеров до уровня ±0,45%. Другой отличительной чертой генераторов выпуска является необходимость обеспечить требуемые параметры импульса в двух различных режимах работы при разных уровнях заряда ФЛ. Поскольку керамические конденсаторы, используемые в ФЛ, имеют зависимость от напряжения, необходимо было настраивать волновое сопротивление ячеек ФЛ на некоторую среднюю величину, что обеспечило бы требуемые параметры импульса в разных режимах рабо-

ты. В итоге равномерность вершины импульса поля выпускных кикеров составила $\pm 0,3\%$. Формы импульсов поля кикера выпуска отображены на Рис. 5.7.2, выпуска – на Рис. 5.7.3. На Рис. 5.7.4 представлена фотография генератора с подключенным кикером в кольце Бустера.

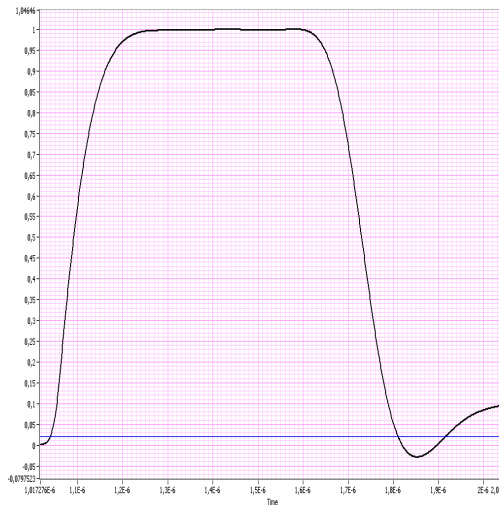


Рис. 5.7.2. Форма поля, измеренная на оси кикера выпуска; амплитуда поля соответствует 720 Гс, шкала времени – 100 нс/клетка.

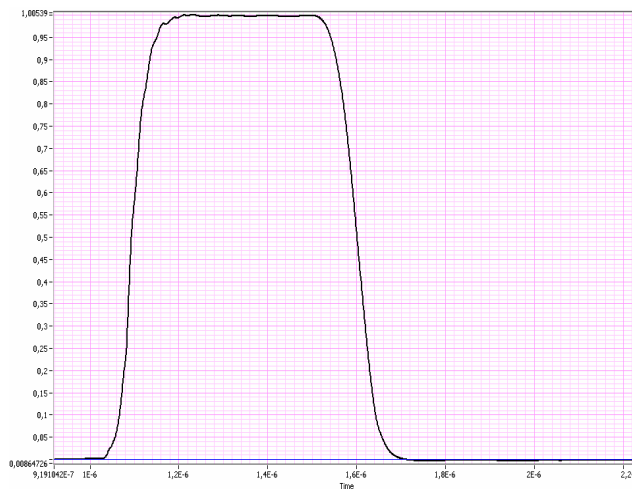


Рис. 5.7.3. Форма поля, измеренная на оси кикера выпуска; амплитуда поля соответствует 510 Гс, шкала времени – 200 нс/клетка.

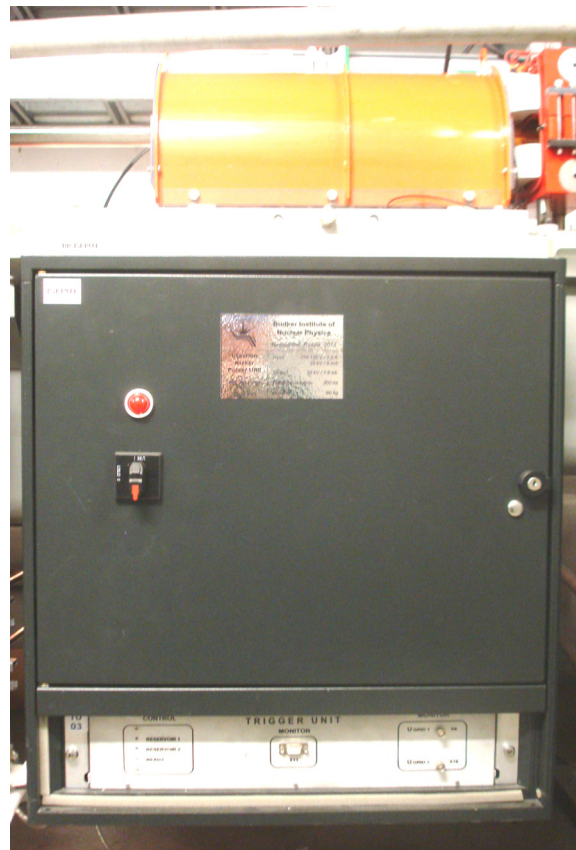


Рис. 5.7.4. Фотография генератора, собранного в кольце Бустера NSLS II.

5.8. СОЕДИНИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ЕВРОПЕЙСКОГО XFEL (DESY).

В Европейском проекте XFEL впервые было предложено использовать мощные многолучевые клистроны горизонтального исполнения в качестве ВЧ-источников питания сверхпроводящих секций ускорителя. Данный тип исполнения клистронов позволил существенно снизить затраты на строительство XFEL туннеля, но значительно усложнил механизм подключения и запитывания клистронов внутри этого туннеля по причине ограниченного объема туннеля и больших весов и габаритов клистронов и импульсных трансформаторов.

Для решения этой проблемы в ИЯФ СО РАН был разработан Соединительный модуль (Рис. 5.8.1).

Оригинальная конструкция Соединительного модуля в целом позволила:

- запитать клистроны горизонтального исполнения (Toshiba, Thales, CPI) от импульсного трансформатора через гибкое кабельное соединение;
- осуществить стабильное питание накала клистронов через разделительный резонансный трансформатор, от специально разработанного инвертора, управляемого дистанционно через Ethernet протокол;

- проводить импульсные измерения тока и напряжения клистронов;
- охлаждать катодные объемы клистронов.

В течение 2012 года ИЯФ СО РАН поставил в DESY 13 комплектов Соединительных модулей. Большая часть Соединительных модулей успешно прошла испытания на тест стендах DESY (см. Рис. 5.8.2).

В рамках attachment # 27 ИЯФ СО РАН должен поставить 27 Соединительных модулей в период с марта 2012 года по март 2014 года.

Начало сборки XFEL ускорителя намечено на сентябрь 2013 года.

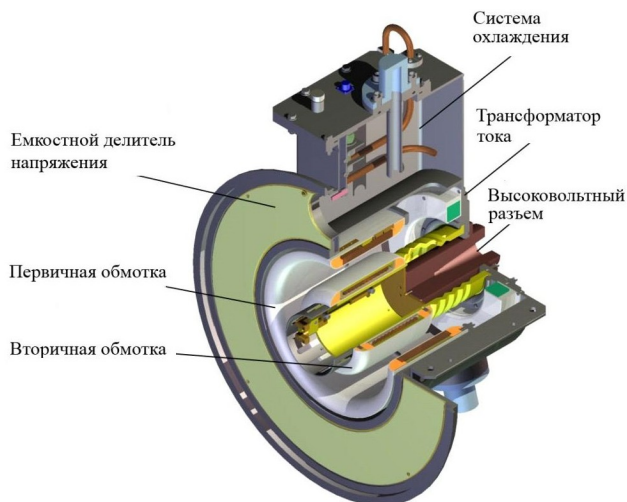


Рис. 5.8.1.Трехмерный вид Соединительного модуля.

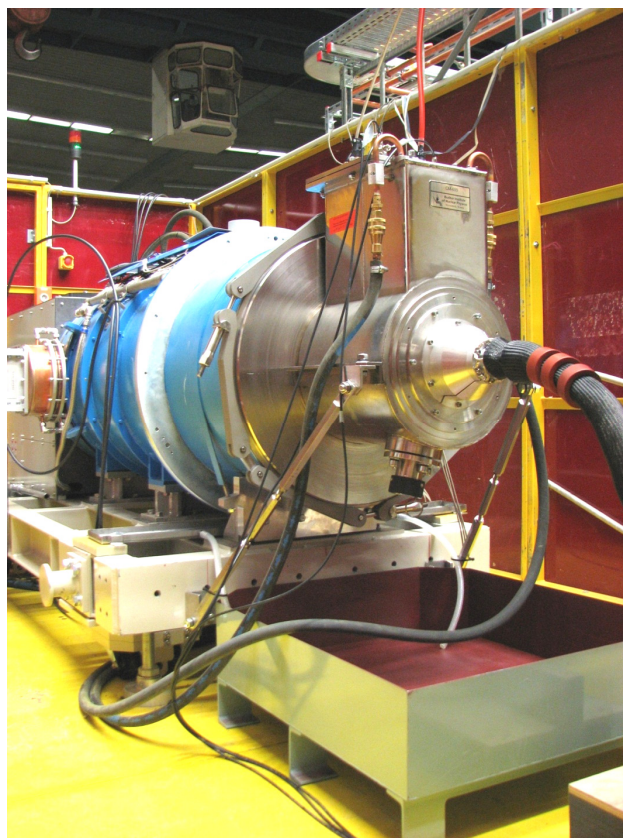


Рис. 5.8.2. Соединительный модуль на тест стенде в DESY.

5.9 УСТАНОВКА ЭЛЕКТРОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

5.9.1. Установка электронного охлаждения для немецкого синхротрона COSY.

В 2012 году были закончены работы по созданию и отправке в Германию принципиально нового электронного охладителя на напряжение 2 МВ для немецкого ускорительного центра COSY. Данный электронный охладитель дает уникальную возможность для проведения экспериментов с детектором элементарных частиц при подавлении эффектов, связанных с рассеянием на ядрах мишени и возникновением разброса импульсов, вызванных флуктуациями ионизационных потерь. В отличие от 4 МэВ охладителя на ТЕВАТРОНЕ FNAL для нового охладителя понадобилось гораздо более быстрое охлаждение, основанное на использовании сильно замагниченного электронного пучка. Базой для разработки конструкции высоковольтного охладителя послужили научные исследования и разработки, развиваемые в ИЯФ:

- 1). Лазерный компас, работающий в вакууме, для прецизионного контроля прямолинейности силовых линий в секции охлаждения
- 2). Коррекции положения катушек секции охлаждения
- 3). Четырех электродная электронная пушка с управляемым профилем пучка. Модуляция разных частей электронного пучка позволяет измерять не только положение, но и размеры электронного пучка.
- 4). Встроенный профилометр электронного пучка.
- 5). Мощный каскадный трансформатор, позволяющий обеспечить энергией не только высоковольтный терминал, но и создать соленоидальное поле вдоль ускоряющих и замедляющих трубок.
- 6). Система pick-up – ов, которые расположены по периметру транспортных каналов и на концах секции охлаждения.

Конструкция электронного охладителя на 2 МэВ включает в себя ускорительную колонну для ускорения и замедления электронного пучка, транспортные каналы для транспортировки электронов к секции охлаждения и обратно, и секцию охлаждения, на которой происходит передача энергии от горячих ионов к холодному электронному пучку. Для обеспечения работы электронного охлаждения в широкой области энергий от 25 кэВ до 2 МэВ предложено использовать модульную систему построения электростатического ускорителя. Каждая новая установка собирается из готовых унифицированных модулей на любую заданную энергию.

За 2012 год удалось собрать систему охлаждения и испытать ее с пучком. Высоковольтные испытания при заполнении высоковольтного бака элегазом показали возможность получать напряжения до 1,5 МВ. Эксперименты с электронным пучком при напряжении 30 кВ показали возможность получения тока 1 А,

при напряжении 1,0 МэВ ток составил величину 0,5 А, а при максимальном напряжении – порядка 200 мА. В начале 2013 года предполагается начать сборку и запуск установки электронного охлаждения в Германии.

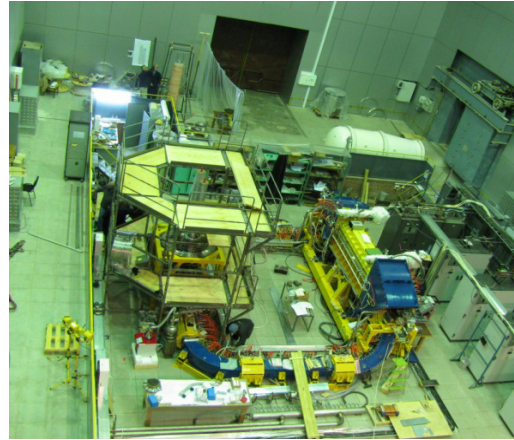


Рис. 5.9.1. Начало 2012 года – сборка и настройка электронного охладителя и электроники управления и питания.



Рис. 5.9.2. Конец 2012 года- погрузка секции охлаждения в грузовик для перевозки в Германию.

5.9.2. Компас для измерения прямолинейности силовой линии.

Для поддержания высокой охлаждающей способности электронного пучка на высокой энергии очень важно иметь малое отклонение углов между ионным и электронным пучком. Для этого было принято решение установить в секции охлаждения лазерный компас для контроля прямолинейности силовой линии. Необходимость прогрева секции охлаждения накладывала серьезные ограничения на конструкцию такого компаса. Пришлось отказаться от используемой в последнее время конструкции с подвеской на нити и вернуться к самому первому варианту с карданной подвеской на часовых камнях.



Рис. 5.9.3. Измерения горизонтальной компоненты наклона силовой линии в секции охлаждения до корректировки и после корректировки положения катушек.

При испытаниях выяснилось, что трение в осях оказалось заметно выше ожидаемого и пришлось использовать процедуру устранения гистерезиса путем специального магнитного цикла при измерениях.

5.9.3. Профилеметр электронного пучка.

При первых включениях с электронным пучком наблюдалась сильное ухудшение эмиссионной способности катода при нештатной работе рекуперации электронного пучка. При этом происходила сильная дегазация и требовалась длительная тренировка катода для восстановления. Это отразилось в заметной асимметрии электронного пучка и «зубастой форме профиля». На рисунке показаны профили электронного пучка при различных соотношениях напряжений на аноде и управляющем электроде пушки.

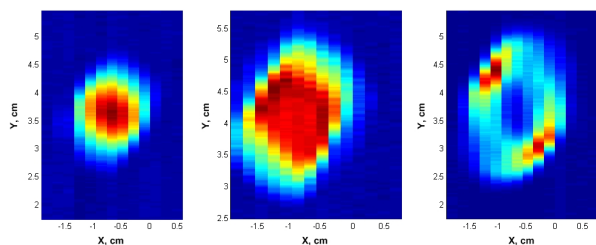


Рис. 5.9.4. Профили электронного пучка при различных напряжениях на электродах.

Видно, что наблюдаются области с хорошей и плохой эмиссией электронов. В дальнейшем, при запуске в Германии, предполагается лучше очистить электронную пушку и ускоряющую трубку тренировкой при низких напряжениях для предотвращения бомбардировки катода ионами высокой энергии.

При работе с пучком были измерены отклики корректирующих катушек на пикап электродах. Смещения пучка соответствуют расчетным значениям.

Магнитная система охладителя имеет на пути от пушки к входу в соленоид охлаждения шесть потенциальных участков «нагрева»: три поворота на 90° , 45° тороид и два участка с неадиабатическим нарастанием поля. Пучок с заданной энергией входит в соленоид без «нагрева» лишь при определенных значениях поля на этих участках. Возникает вопрос контроля «нагрева».

Факт «нагрева» наблюдался на пикап электродах при сканировании поля в соленоиде от 370 до 480 Гс. Поле в тороидах было понижено до 440 Гс, энергия пучка 150 кэВ. Соответственно, число ларморовских оборотов электронов на длине соленоида изменялось от 11 до 14.

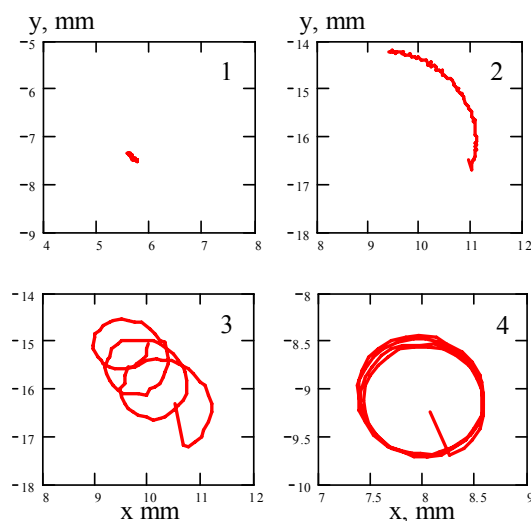


Рис. 5.9.5. Центр пучка при сканировании поля соленоида: 1 – pick-up на входе в 45° тороид, 2 – pick-up на входе в соленоид, 3 – pick-up на выходе из соленоида и 4 – pick-up на выходе из 45° тороид.

5.9.4. Коллектор с фильтром Вина.

Для высоковольтной установки электронного охлаждения для COSY был разработан коллектор, где для подавления обратного потока отраженных от коллектора электронов используется фильтр Вина (рис. 5.9.5).

Идея заключается в использовании скрещенных электрического и магнитного полей. Для основного пучка действие поперечных сил компенсируется, и пучок движется без отклонения. Для отраженных электронов сила Лоренца направлена в противоположную сторону и не компенсирует а, наоборот, усиливает действие электрического поля, за счет чего обратный поток электронов отклоняется в сторону, где затем может быть поглощен специальной приемной пластиной. Наличие продольного магнитного поля в фильтре Вина позволяет избежать попадания отра-

женных от коллектора электронов на электростатические пластины, создающие электрическое поле, поскольку смещение вторичного пучка происходит за счет дрейфа, который направлен параллельно пластинам.

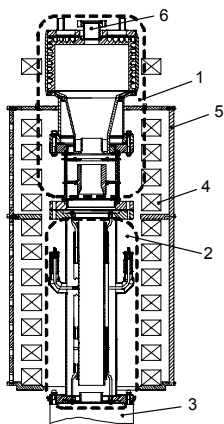


Рис. 5.9.6. Коллекторный узел. 1- коллектор с супрессором и приколлекторным электродом, 2 – узел фильтра Вина, 3 – ускорительная трубка, 4 – катушки продольного поля, 5 – магнитный экран, 6 – фланец для дополнительной вакуумной откачки.

В ходе испытаний было обнаружено, что эффективность такого коллектора зависит от качества проводки пучка через систему. При этом характерное значение эффективности составляет величину порядка 10^{-5} при токе в несколько сотен миллиампер (см. рис. 5.9.6).

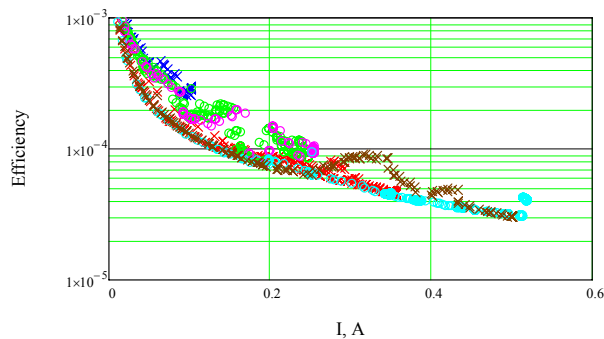


Рис. 5.9.7. Зависимость эффективности коллектора от тока электронного пучка в различных режимах работы пушки и коллектора.

Достигнутые на установке значения эффективности коллектора с фильтром Вина примерно на порядок хуже, чем значения, полученные на испытательном стенде. Это может быть связано как с неточностями, допущенными при сборке ускорительных трубок, так и с эффектами рассеяния электронов на остаточном газе. Этот вопрос требует дальнейшего исследования.

5.10. УСКОРИТЕЛЬНЫЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТР

В 2012 году был проведен УМС-анализ более 600 образцов как технологических, для отработки методики подготовки образцов, так и природных (кости животных, угли сгоревших строений, остатки органической пищи на глиняной посуде, донные осадки озер). В качестве примера на Рис.5.10.1 приведена кривая концентрации радиоуглерода в торфяных отложениях у реки Демьянка Тюменской области. Заметная часть артефактов сопровождалась оценочным возрастом, по предположениям археологов. Среди природных образцов присутствовали как «старые» (возраст более 40 тысяч лет), так и современные образцы.

Продолжались работы по усовершенствованию элементов комплекса УМС и методики УМС-анализа образцов. Повышена надежность и стабильность источников питания комплекса УМС и цикла радиоуглеродного анализа образцов. Несмотря на отсутствие целевого финансирования, удалось создать основную часть специализированного стенда для опытов по подготовке биомедицинских образцов.

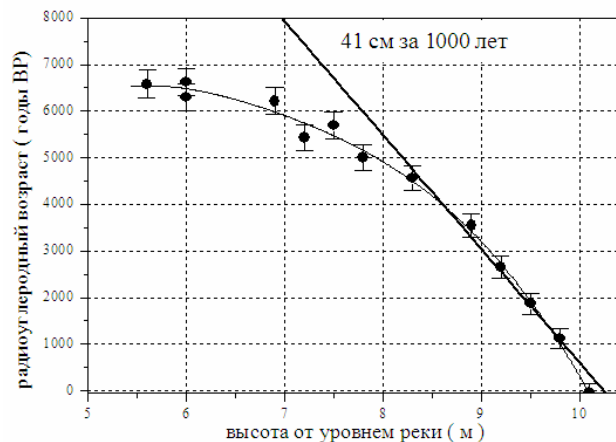


Рис. 5.10.1. Радиоуглеродный возраст торфяных отложений в зависимости от высоты над уровнем воды.

5.11. ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ

5.11.1. Электронные облака.

Электронные облака большой плотности являются одним из лимитирующих факторов на пути повышения интенсивности релятивистских пучков положительно заряженных частиц. В качестве одного из последних примеров можно привести пробный тест функционирования ЛНС с проектным промежутком между сгустками 25 нс. Результаты показали, что, в отличие от лабораторных экспериментов, тренировка замкнутой холодной поверхности существенно замедляется, не позволяя получить низкие значения коэффициента вторичной эмиссии в течение прогнозируемого времени (1-2 недели).

Моделирование электронных облаков затруднено, с одной стороны, большим количеством входных параметров (часто плохо определенных), с другой стороны, малым количеством «выходных» параметров, которые поддаются измерению на ускорительных установках. Целью данной работы является создание установки для получения электронных облаков в лабораторных условиях и изучение их взаимодействия с поверхностью в присутствии магнитного поля.

Схема установки представлена на рисунке 5.11.1. Все основные элементы: С – термо-катод, М – модулятор, D – диафрагма (заземлена), ВМ1 – первый монитор пучка (цилиндр, с устанавливаемым потенциалом), дрейфовый цилиндр с устанавливаемым потенциалом, ВМ2 – второй монитор пучка с устанавливаемым потенциалом и S – исследуемый образец (заземлен через измеритель тока); расположены на одной линии – вдоль силовых линий магнитного поля внутри соленоида. Манипулятор SM служит для оперативной смены исследуемых образцов (S) без напуска атмосферного воздуха.

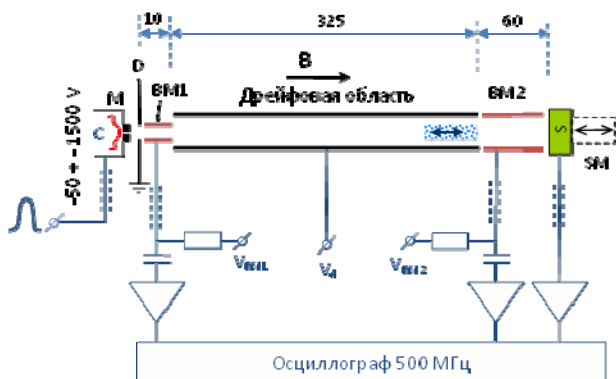


Рис.5.11.1. Структурная схема установки.

На установке осуществлена импульсная методика измерений с временным разрешением 1 нс. Для этого к модулятору, мониторам пучка и образцу проведены

согласованные коаксиальные линии. Пучок первичных электронов длительностью $2 \div 10$ нс создается подачей импульса напряжения на модулятор. Энергия первичных электронов определяется потенциалом катода. Сигналы с мониторов пучка и образца, предварительно усиленные для увеличения соотношения сигнал/шум, записываются на электронный осциллограф с полосой пропускания 500 МГц и частотой дискретизации 5 ГГц.

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, «уйти» из данной структуры электроны могут только при взаимодействии с поверхностью 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.

Параметры установки:

- максимальный диаметр образца: 13 мм
- энергия первичных электронов: $50 \div 1500$ эВ
- импульсный ток первичных электронов: до 0,2 мА
- длительность импульса: $1 \div 10$ нс
- амплитуда управляющего импульса на модулятор: до 100 В.
- диаметр пучка: $1.4 \div 2$ мм
- максимальное магнитное поле: 0,04 Тл (предусмотрена возможность установки всех элементов в сверхпроводящий соленоид с магнитным полем до 13 Тл)
- потенциалы на ВМ1, ВМ2 и дрейфовой трубе могут устанавливаются независимо
- параметры предусилителей: полоса $0 \div 1,8$ ГГц, усиление 25.

В 2012 году проведены тестовые эксперименты при комнатной температуре на образцах, изготовленных из бескислородной меди, нержавеющей стали, титана и алюминиевого сплава 6063.

Первые эксперименты показали, что основным препятствием проведения измерений является возбуждение высокочастотного электромагнитного поля управляющим импульсом модулятора. Но благодаря тому, что в отсутствие магнитного поля электронный сгусток рассеивается и не достигает образца, электромагнитное возбуждение удалось учесть, проведя запись токов с включенным и выключенным магнитным полем:

$$I = I[\text{«В» вкл.}] - I[\text{«В» выкл.}]$$

Это позволило повысить чувствительность измерений, по крайней мере, на порядок и проводить эксперименты при малых импульсах тока (до 20 мкА при сохранении относительной точности измерений лучше 10%).

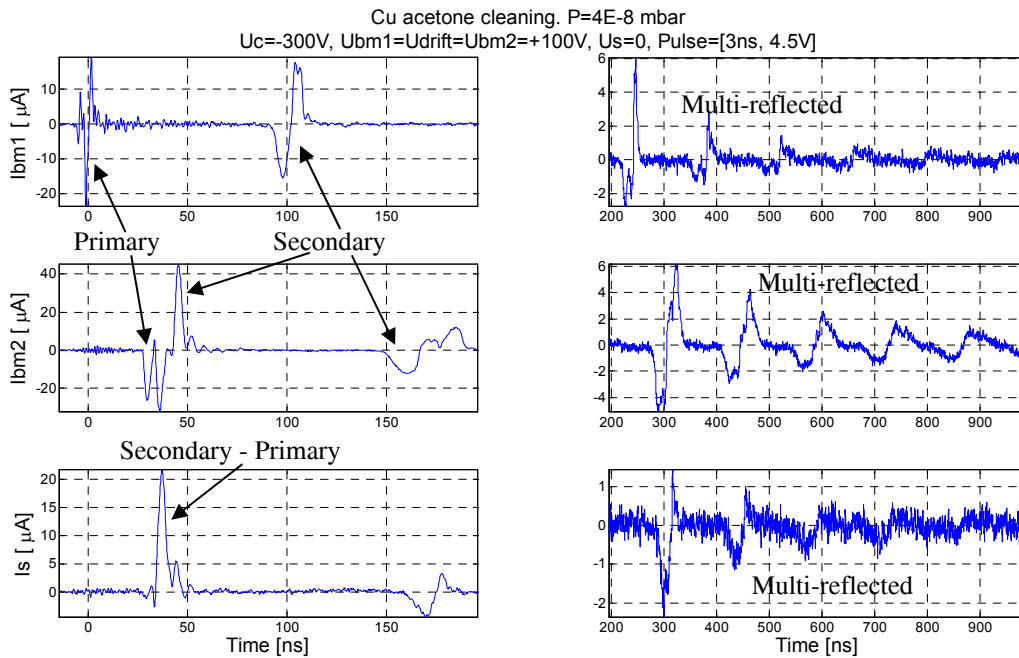


Рис.5.11.2. Сигналы мониторов пучка Ibm1, Ibm2 и исследуемого образца (Is).

На рисунке 5.11.2. представлены характерные временные зависимости токов мониторов (Ibm1, Ibm2) и образца (Is). Левые графики демонстрируют прохождение первичных электронов, их взаимодействие с образцом и первому циклу прохождения вторичных электронов от поверхности образца до диафрагмы D и обратно. Правые графики показывают долговременную динамику электронного облака – многократное отражение электронов от поверхности образца либо, что не следует исключать, захват электронов в дрейфовой структуре из-за потери энергии электронов благодаря взаимодействию с пространственным зарядом.

Экспериментальные данные дают возможность вычислить коэффициент вторичной электронной эмиссии (SEY) несколькими способами. Но, как оказалось, наименее чувствительным к шуму является определение SEY по формуле:

$$SEY = \frac{Q_p + \Delta Q}{Q_p}$$

Здесь Q_p - полный заряд первичных электронов (интеграл от первого отрицательного импульса Ibm2 рис.5.10.2.), ΔQ - дополнительный заряд, эмитированный из образца благодаря вторичной эмиссии (интеграл от первого положительного импульса Is рис. 5.10.2.). Измеренные значения SEY как функции энергии первичных электронов представлены на рисунке 5.10.3 для образцов из различных материалов.

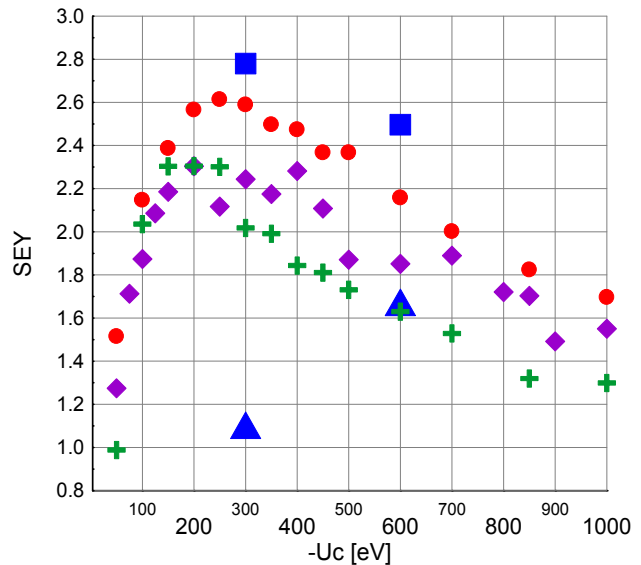


Рис. 5.11.3. $-U_c$ – энергия первичных электронов; “●” – Титан ($U_d=40$ В, $I_p=14$ мкА); “◆” – нержавеющая сталь ($U_d=40$ В, $I_p=20$ мкА); “+” – медь бескислородная ($U_d=40$ В, $I_p=20$ мкА); “■” – алюминий, сплав 6063 ($U_d=100$ В, $I_p=140$ мкА); “▲” – алюминий, сплав 6063, поверхность пилообразная с углом раствора 30° . U_d – потенциал на ВМ1, ВМ2 и дрейфовом цилиндре, I_p – амплитуда импульса первичных электронов. Длительность импульса 3 нс.

Все образцы имеют достаточно большие значения SEY с характерным максимумом при энергии первичных электронов $200 \div 400$ эВ. Отличие от табличных

значений объясняется наличием оксидных пленок на поверхности. Образец с пилообразной поверхностью с углом раствора 30° показал неожиданное большое подавление выхода вторичных электронов (примерно в 2,5 раза при ожидаемом значении 1,5) при $-U_c=300$ В. При $-U_c=600$ В коэффициент подавления снижается до 1,5. Это объясняется тем, что при наклонном падении первичных электронов, кроме увеличения SEY, происходит значительное смещение максимума SEY в сторону увеличения энергии первичных электронов. Таким образом эффект захвата вторичных электронов пилообразной поверхностью частично компенсируется увеличением SEY.

На рисунке 5.11.4. показана зависимость SEY от вытягивающего поля, определяемого потенциалом на BM2 относительно образца. Потенциалы на BM1 и дрейфовом цилиндре устанавливались равными потенциалу BM2.

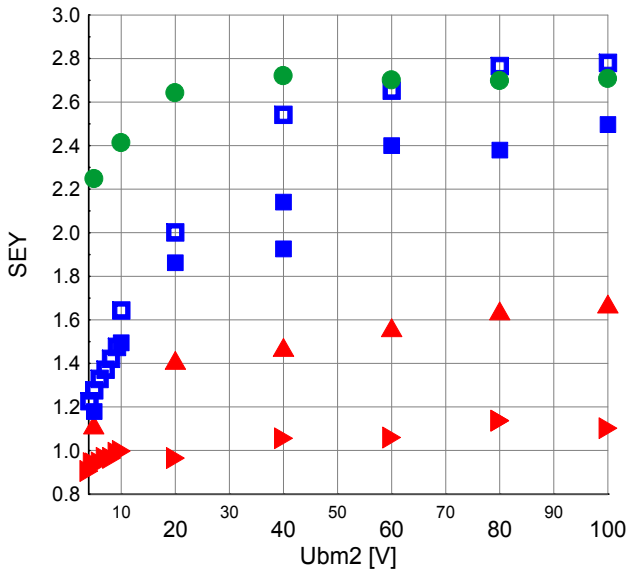


Рис. 5.11.4. Измерение SEY для алюминиевых образцов из сплава 6063. U_{bm2} – потенциал на мониторе пучка BM2 [В]. “●” – плоский ($-U_c=300$ В, $I_p=22$ мкА); “■” – плоский ($-U_c=600$ В, $I_p=120$ мкА); “□” – плоский ($-U_c=300$ В, $I_p=120$ мкА); “▲” – пилообразный с углом раствора 30° ($-U_c=600$ В, $I_p=120$ мкА); “▶” – пилообразный с углом раствора 30° ($-U_c=300$ В, $I_p=110$ мкА).

Наличие зависимости выхода вторичных электронов от вытягивающего потенциала означает, что пространственный заряд возвращает часть электронов на образец. Плотность облака достигает максимума вблизи поверхности образца сразу после эмиссии вторичных электронов. Оценки максимальной плотности дают значение порядка 10^8 см $^{-3}$ при пиковом токе первичных 20 мкА и длительности импульса 3 нс. Часть электронов замедляется из-за взаимодействия с пространственным зарядом и оказывается запертой в дрейфовой структуре, не имея достаточной энергии,

чтобы достичь поверхности образца. Обработка формы импульса тока, соответствующего вылету вторичных электронов и BM2 (см. рис.5.11.5.), позволяет определить распределение вторичных электронов вдоль оси структуры (соленоида).

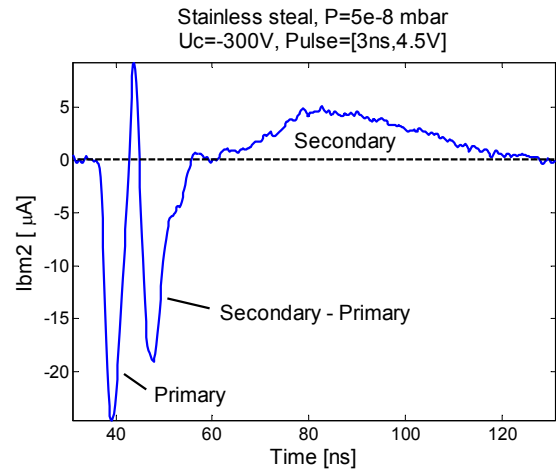


Рис. 5.11.5. Запись тока BM2, отражающая влет первичных электронов, взаимодействие с образцом и вылет вторичных электронов.

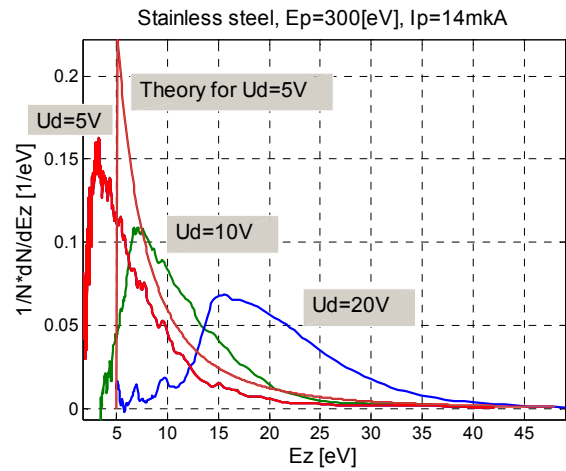


Рис. 5.11.6. Распределение вторичных электронов по энергии вдоль магнитного поля при вылете из BM2. U_d – потенциал на BM2.

На рис. 5.11.6. представлены теоретический расчет распределения вторичных электронов вдоль магнитного поля при вылете из BM2, смещенного на +5 В относительно потенциала образца, и полученные распределения в результате обработки экспериментальных данных. Видно, что значительная часть электронов приобретает энергию меньше потенциала вытягивающего поля. Таким образом, многократное прохождение электронами структуры (правые графики на рис. 5.11.2) можно объяснить не только высоким коэффициентом отражения, но и тем, что часть вторич-

ных электронов не имеет достаточной энергии, чтобы достичь поверхности образца.

Чтобы сделать влияние пространственного заряда пренебрежимо малым, необходимо уменьшить его плотность примерно на два порядка (до $\sim 10^6$ см⁻³). Уменьшение пикового тока вторичных электронов возможно до значений порядка $0,2 \div 1,0$ мкА при условии полного подавления электромагнитного возбуждения от управляющего импульса. Но это дает только один порядок в уменьшении плотности облака. Дальнейшее уменьшение возможно за счет увеличения диаметра пучка (до 5 мм, например). Оба способа легко реализуются при применении фотокатода, установка которого вместе с управляющим полупроводниковым лазером планируется в 2013 году.

5.11.2. Вакуумная система бустера NSLS-II.

В 2012 году были продолжены работы по созданию вакуумной системы бустера для синхротрона NSLS-II создаваемого в Brookhaven National Laboratory, USA.

Как уже сообщалось в прошлом отчете давление остаточного газа после накопления интеграла тока порядка 1 А·ч должно быть не хуже 10^{-7} Торр. Обеспечение вакуума осуществляется при помощи магниторазрядных насосов (всего насосов 72 штук) фирмы Gamma Vacuum со скоростью откачки 45 л/с, расположенных, в среднем, на расстоянии 2,3 метра друг от друга.

В настоящее время вся вакуумная система бустера собрана, получен вакуум порядка $<10^{-8}$ Торр (лучше, чем ожидалось). Наиболее сложными для изготовления, с технологической точки зрения, были камеры впускных (рис. 5.11.7) и выпускных промежутков.



Рис. 5.11.7. Промежуток впуска (инжекция пучка)

5.11.3. Исследование активационных и газопоглощающих характеристик картриджа Wafer Module на базе геттера St'707.

В качестве альтернативы криоконденсированной откачке в различных инжекторах пучков атомов водорода предлагается использовать «теплые» откачные системы. Одной из таких систем является геттерная

откачка. Наиболее распространенным и надежным производителем различных геттеров является компания SAES Getters.

Для обеспечения необходимых характеристик (вакуум, не ниже 10^{-5} Торр, доза водорода не менее 10^6 л·Торр) в инжекторе пучков рассматривается возможность применения Wafer Module на базе геттера St'707. Целью данной работы является подтверждение паспортных данных. Поскольку для создания

атомов водорода используется цезий, то очень важно понять влияние атомов цезия на активационные и газопоглощающие характеристики геттера.

Одним из немаловажных параметров геттера является время регенерации, то есть время, за которое геттер выделит весь поглощенный водород. В нашем случае время регенерации составляет порядка 32 ча-

сов (90% высвободившегося газа). На Рис. 5.11.8 показана зависимость равновесного давления водорода от времени регенерации.

Другими важными параметрами картриджа являются зависимость равновесного давления от дозы (Рис. 5.11.9) и от температуры регенерации (Рис. 5.11.10).

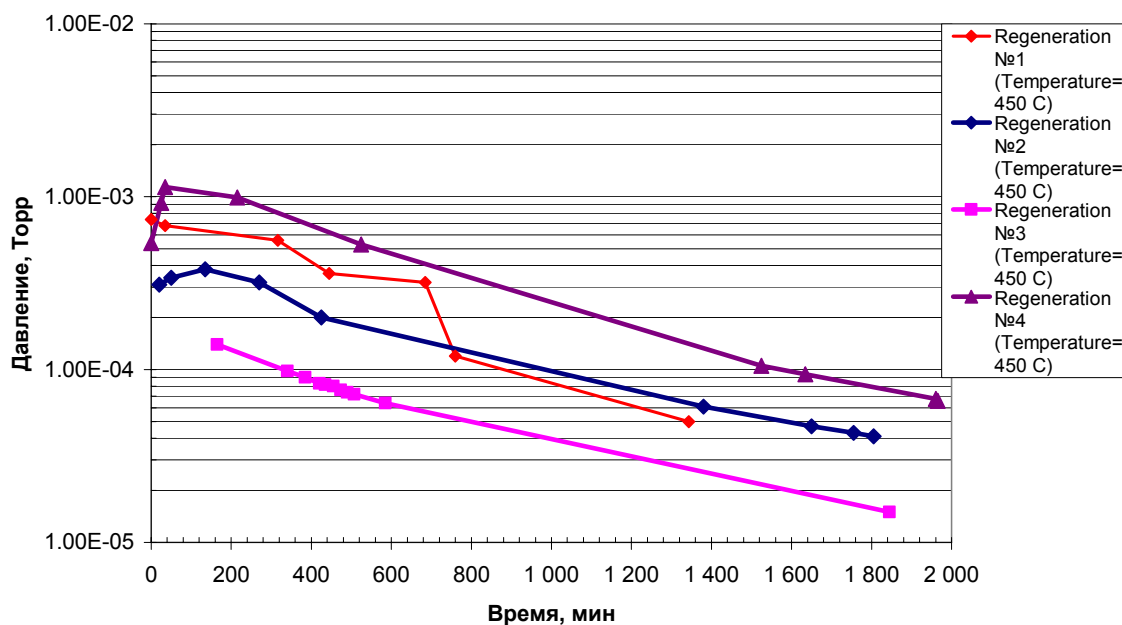


Рис. 5.11.8. Зависимость равновесного давления водорода геттера от времени регенерации.

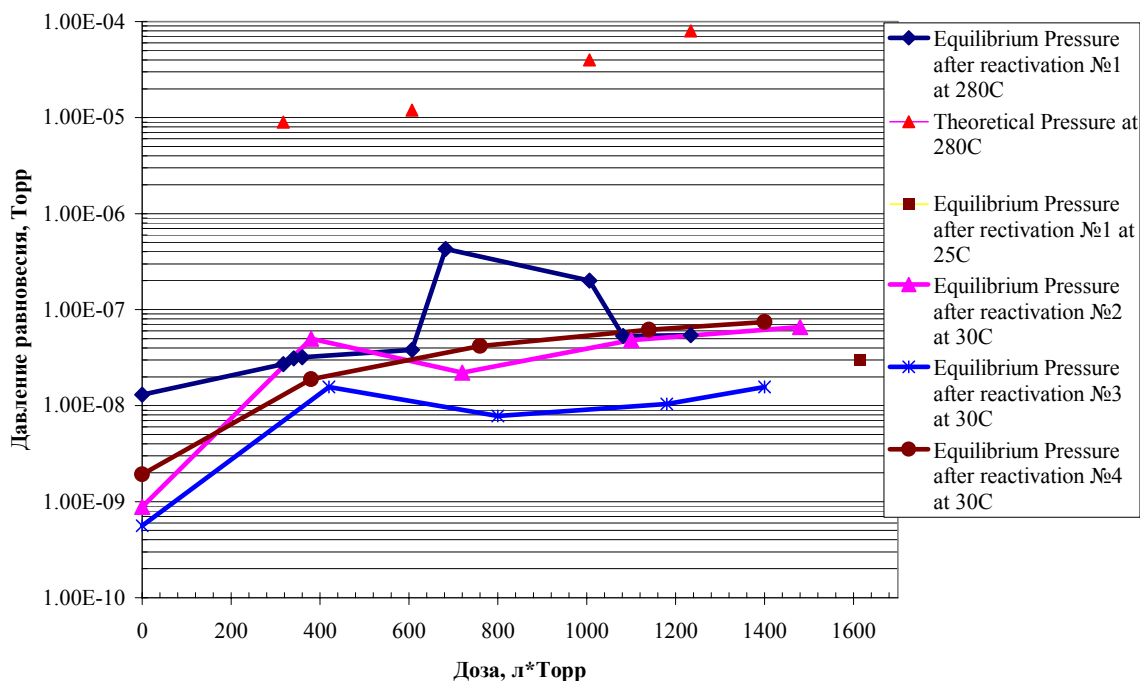


Рис. 5.11.9. Зависимость равновесного давления от дозы.

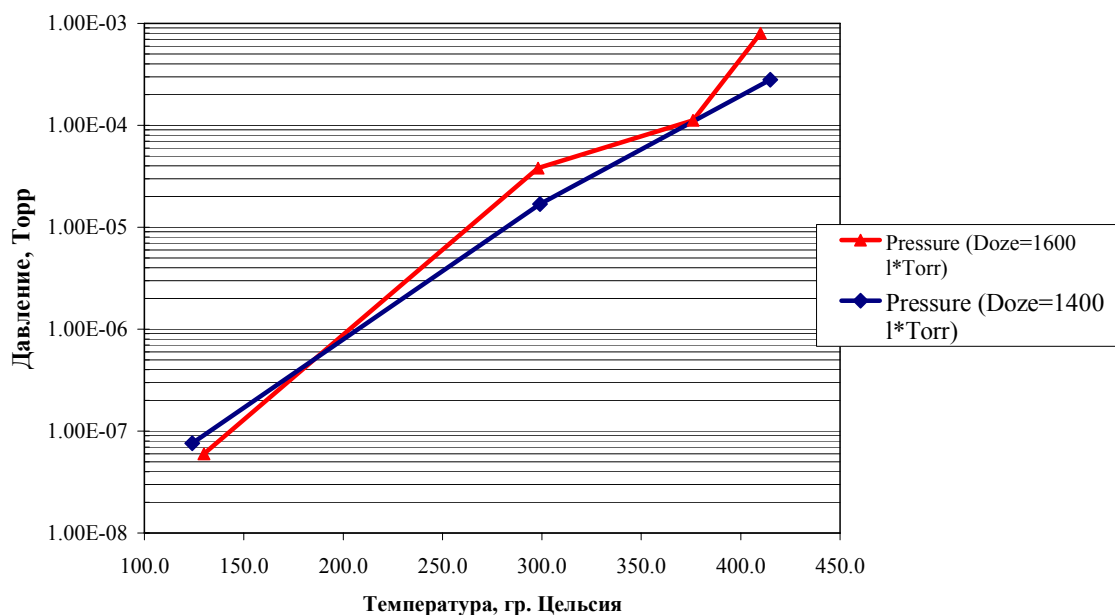


Рис. 5.11.10. Зависимость равновесного давления от температуры регенерации.

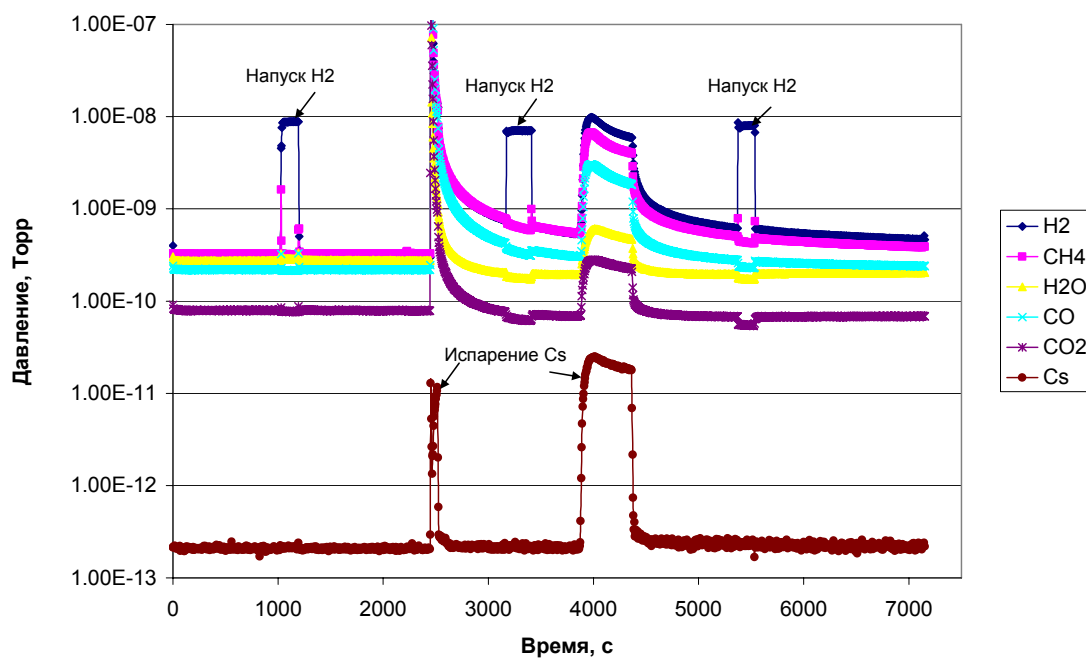


Рис. 5.11.11. Измерение влияния цезия на параметры геттера после активации. На геттер расплылось порядка $2 \cdot 10^{19}$ молекул цезия. Испарение происходило без предварительной дегазации диспенсера.

Быстрота откачки геттера по водороду оставалась в процессе активаций/регенераций неизменной и равной приблизительно 1000 л/сек.

Для проведения экспериментов с цезием был использован цезиевый испаритель (диспенсер) компании SAES Getters. Цезий испарялся после активации геттера (Рис.5.11.11) при 400-450 °С в течение 100

мин и после регенерации геттера. Измерялась быстрота откачки водорода до испарения цезия с диспенсера и после испарения.

Быстрота откачки геттера по водороду осталась неизменной (1000 л/сек), также как температура и время, необходимые для регенерации.

6

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

И

ЛАЗЕРЫ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

6.1. ВВЕДЕНИЕ

На базе установок и лабораторий Института Ядерной Физики функционирует уже более тридцати лет центр коллективного пользования Сибирский Центр Синхротронного и Терагерцового Излучения (СЦСТИ). Работы в центре коллективного пользования ведутся по двум направлениям: с использованием синхротронного и терагерцового излучений.

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 СИ.

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 2012 году планировалось выделить 1590 часов (в 2011 году – 2028 часов), но из-за крупных поломок 60 часов пропало, и 48 часов на ВЭПП-4 (в 2011 году – 180 часа). В экспериментах были задействованы 10 станций на 7 каналах вывода СИ из накопителя ВЭПП-3 и 2 станции СИ из ВЭПП-4. На станциях проводили работы исследовательские группы более чем из 50 институтов и организаций.

6.2. РАБОТА НА ПУЧКАХ СИ ИЗ ВЭПП-3

6.2.1. Станция «Экстремального состояния вещества».

Станция предназначена для исследования быстропротекающих взрывных и ударно-волновых процессов. Станция оборудована взрывной камерой и системой регистрации проходящего и малоуглового рассеяния (МУРР) синхротронного излучения (СИ).

Участвующие организации:

- Институт гидродинамики СО РАН,
- Российский федеральный ядерный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ВНИИЭФ), г. Саров,
- Российский федеральный ядерный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики (ВНИИТФ), г. Снежинск,
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
- Институт ядерной физики СО РАН.

В 2012 году работы на станции проводились по научным планам участвующих институтов, а также при

финансовой поддержке следующих проектов и договоров:

- Интеграционный проект СО РАН № 65 «Исследование масштабных эффектов при детонации взрывчатых веществ», 2012-2014 гг..

- Программа РАН № 2.5 «Исследование динамики конденсации наночастиц при детонации смесей на основе ТАТБ методом малоуглового рассеяния синхротронного излучения» программа фундаментальных исследований Президиума РАН «Вещество при высоких плотностях энергии», 2012-2014гг.

- РФФИ 12-01-00177-а Томография механических параметров детонационного течения и уравнение состояния продуктов взрыва, 2012-2014 гг. (рук. Э.Р. Прууэл). РФФИ 10-08-00859-а Исследование фронта ударной волны в наноструктурном SiO₂ аэрогеле с помощью синхротронного излучения, 2010-2012 гг. (рук. К.А.Тен). РФФИ 11-03-00874-а Исследование динамики конденсации наночастиц при детонации ВВ методом малоуглового рассеяния синхротронного излучения, 2011-2013 гг. (рук. В.М.Титов).

- Договор 2/2012 от 16 февраля 2012 года «Изучение детонационных процессов с использованием синхротронного излучения». Заказчик: Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»).

- Договор 6/2012 от 28 мая 2012 года «Исследования структуры ВВ и её влияние на параметры детонации с применением синхротронного излучения». Заказчик: Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина. (РФЯЦ - ВНИИТФ).

Примеры выполненных работ в 2012 году:

1. Измерение МУРР СИ при детонации БТФ.

Для динамических экспериментов с регистрацией мало-углового рентгеновского рассеяния (МУРР) использовалась схема измерения, описанная в работах В. М. Титова, Э.Р. Прууэла, К.А. Тена, Л.А. Лукьянчикова, Л.А. Мержиевского, Б.П. Толочко, В.В. Жуланова, Л.И. Шехтмана (Опыт применения синхротронного излучения для исследований детонационных процессов// Физика горения и взрыва, 2011, т.47, № 6, стр. 3-16. Библ 26; Application of introduced nanodiamonds for the study of carbon condensation during detonation of condensed explosives. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, ISSN 0168-9002, Section A, Vol. 603, Issue 1-2, 2009, pp. 102-104; Measurements of SAXS signal during ТАТБ detonation using synchrotron radiation.// PROCEEDINGS Fourteenth International Detonation Symposium, 2010, Coeur d'Alene, Idaho, USA. PP. 387 - 391. ONR-351-10-185).

Исследовались прессованные заряды из БТФ. Диаметр зарядов составлял 20 мм и длина 30 - 32 мм. Заряд помещался в сборку (Рис. 6.2.1), где зажимался винтами. Инициирование проводилось через промежуточный заряд на основе пластифицированного ТЭ-На.

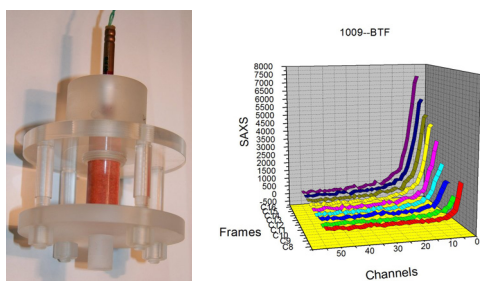


Рис. 6.2.1. Общий вид экспериментальной сборки к рисунку (слева). Динамика распределения МУРР при детонации БТФ. Кадр С11 соответствует прохождению детонационной волны. Время между кадрами 0.5 мкс (справа).

Распределение МУРР, показанное на рисунке 6.2.1, имеет достаточную интенсивность, чтобы его можно было обрабатывать программным кодом GNOM.

Ниже приведены результаты обработки экспериментов (Рис. 6.2.2) в момент прохождения детонационной волны и далее через 1 мкс. Слева приведены объемные распределения $D(R) = \frac{4\pi R^3}{3} \cdot N(R)$, где $N(R)$ - число частиц с радиусом R . Справа приведен график относительного числа частиц $\frac{N(R)}{N}$ с радиусом R . Величина N определялась для каждого графика индивидуально, то есть на полное число частиц размером от 1 нм до 4 нм равно N .

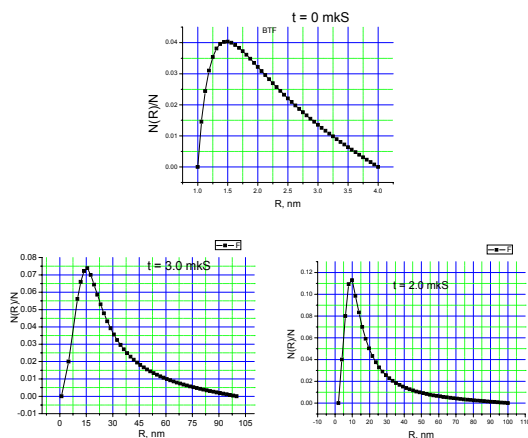


Рис. 6.2.2. Относительное распределение рассеивающих частиц при прохождении детонационной волны через $t = 0, 2$ и 3 мкс. По оси X показан радиус частицы в нм.

Таким образом, динамические эксперименты подтверждают данные в работе И.Ю. Малькова, Л.И. Филатова, В.М. Титова, Б.В. Литвинова, А.Л. Чувиллина, Т.С. Тесленко (Образование алмаза из жидкой фазы углерода // ФГВ, 1993, т. 29, № 4, с. 131-134), где исследовались сохраненные продукты детонации БТФ

во взрывной камере. В данных экспериментах отсутствие водорода в начальном химическом составе БТФ может приводить к двум факторам влияния на процесс конденсации углерода: во-первых, отсутствие в продуктах взрыва паров воды приводит к повышению температуры продуктов, и, следовательно, к повышению скорости конденсации (образования) наночастиц углерода. Во-вторых, отсутствие радикалов С-Н может принципиально изменить ход конденсации. Математическое моделирование образования наноалмазов путем столкновения атомов углерода показывает, что наночастицы углерода размером 5 нм образуются за пикосекунды. В динамических экспериментах рост наночастиц фиксируется в течение микросекунд. Одним из механизмов, объясняющих длительный рост размеров наночастиц углерода, является наличие промежуточных радикалов С-Н.

2. Восстановление параметров течения и полученные результаты при детонации БТФ.

В основе метода восстановления полей газодинамических характеристик детонационного течения лежит численное решение газодинамической задачи в постановке, соответствующей эксперименту. Рассмотрим задачу о цилиндрически симметричном течении газа, в этом случае в эйлеровых координатах уравнения неразрывности и движения имеют вид:

$$\frac{\partial r \rho u}{\partial r} + \frac{\partial r \rho v}{\partial z} = \frac{\partial r \rho}{\partial t},$$

$$\frac{\partial r \rho u^2}{\partial r} + \frac{\partial r \rho u v}{\partial z} + r \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\partial r \rho u}{\partial t}, \quad (6.2.1)$$

$$\frac{\partial r \rho v^2}{\partial z} + \frac{\partial r \rho u v}{\partial r} + r \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\partial r \rho v}{\partial t},$$

где ρ – плотность, p – давление, u, v – осевая и радиальная компоненты вектора скорости, r, z – радиальная и осевая пространственные координаты, t – время. Перейдя к лагранжевой системе координат, будем решать задачу о течении газа, подчиняющегося уравнению состояния:

$$p(\rho) = p_0(\rho / \rho_{00})^{G(\rho)}, \quad (6.2.2)$$

($p_0, \rho_{00}, G(\rho)$ – еще подлежащие определению параметры). При заданных значениях параметров рассчитывается поле течения, распределение плотности в котором можно сравнить с полученным экспериментально. Расчет проводился в области, правая граница которой считалась плоской, что соответствует предположению о плоской детонационной волне, распространяющейся по заряду с постоянной скоростью D . В качестве граничного ставилось условие втекание потока массы и импульса ($\rho_0 D$ и $\rho_0 D^2$ соответственно). На остальной границе ставились граничные условия, определявшиеся из решения задачи о распаде разрыва между продуктами детонации и воздуха. Использование лагранжевых координат позволило естественным образом выделить детонационный разрыв и вести расчет только в области, занятой детонацион-

ным течением. Для численного решения при варьируемых значениях искомых параметров использовался метод Годунова.

Выбор подлежащих определению параметров осуществлялся на основе минимизации функционала среднеквадратичных отклонений рассчитанных и экспериментально полученных рентгеновских «теней» исследуемого течения в выделенных узлах расчетной области. При этом зависимость $G(\rho)$ аппроксимировалась кубическим сплайном. Для решения возникающей задачи многомерной минимизации использовался симплекс метод, описанный и реализованный в Gnu Science Library documentation.

Результатом восстановления является параметрическое уравнение состояния продуктов детонации. Это позволяет восстанавливать ряд механических параметров течения не только в области наблюдения рентгеновской тени, но и во всем пространстве заполняемом продуктами взрыва. Полученные результаты для заряда бензотрифуроксана (БТФ) диаметром 20 мм показаны на рисунках 6.2.3 и 6.2.4:

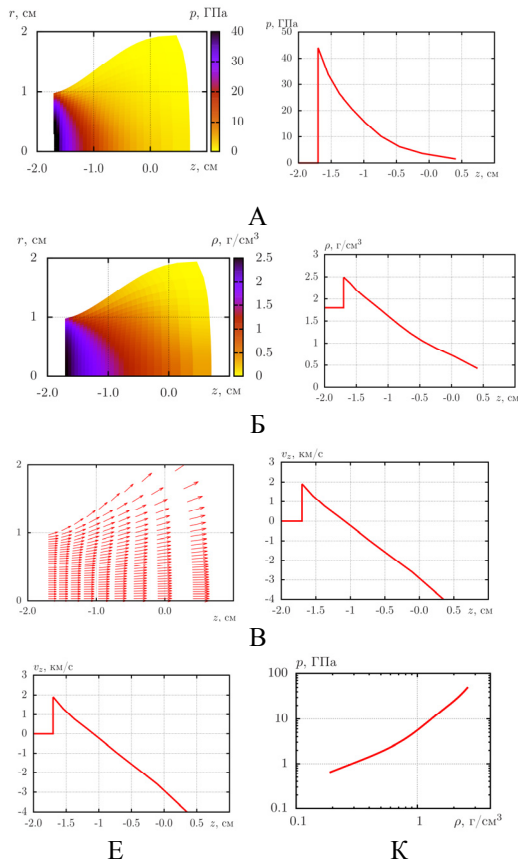


Рис. 6.2.3. Пространственные распределения параметров и значения их на оси, при детонации цилиндрического заряда БТФ через 2 мкс от момента инициирования: а и г – давление, б и д – плотность, б – массовая скорость в системе детонационного фронта, е – массовая скорость в покоящейся системе отсчета, к - адиабата разгрузки продуктов детонации построенная вдоль линии тока проходящей через ось.

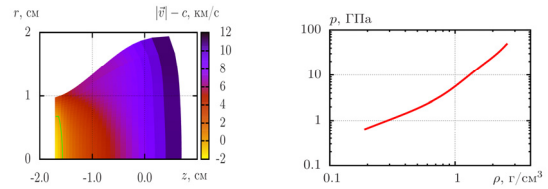


Рис. 6.2.4. Звуковая граница при детонации цилиндрического заряда БТФ через 2 мкс от момента инициирования.

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 СО РАН, Новосибирск;
- Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, Владивосток.

В 2012 году работы на станции проводились при финансовой поддержке следующих проектов:

- Государственный контракт от 12 октября 2011 г. №16.513.11.3135 «Разработка экспериментального образца био-аналитического комплекса нового поколения на основе микро/нанофлюидных систем»;
- Государственный контракт 29 августа 2011 г. № ОК12-Р-ВК/2011 «Рентгенолучевой микролитограф»
- Проект РФФИ № 12-02-12071 (2012-2014 гг.), прошел по конкурсу офи_м, название: «Развитие методов получения высокоразрешающих фазоконтрастных изображений с использованием рентгеновской дифракционной оптики».
- Междисциплинарный интеграционный проект СО и ДВО РАН № 92 (2012-2014 гг.) «Материал и LIGA-технологии для создания микрофлюидных аналитических систем, регистрирующих флуоресценцию».

Примеры работ, проведенных на станции:

На станции LIGA на накопителе ВЭПП-3 Сибирского центра синхротронного и терагерцевого излучения (СЦСТИ) реализован режим работы микропучкового рентгенолитографа – нового устройства для пря-

мого формирования микроструктур в толстых слоях рентгенорезистов, в том числе для изготовления рентгеношаблонов. С использованием специального программного обеспечения коллимированным пучком синхротронного излучения при перемещении подложки векторным образом непосредственно в слое негативного резиста SU-8 толщиной до 1 мм формируется рисунок микроструктуры с произвольно заданной топологией.

Цель данной работы состояла в модернизации аппаратуры и программного обеспечения станции LIGA на канале вывода СИ из накопителя ВЭПП-3 для реализации метода прямого формирования диафрагмированным пучком СИ высокоаспектных структур с микронными размерами элементов и с произвольно заданной топологией.

В СЦСТИ изготовлен и протестирован микропучковой рентгенолитограф, предназначенный для формирования глубоких микроструктур с гладкими вертикальными стенками и произвольно заданной топологией. С использованием микропучкового рентгенографа появилась возможность гибкого производства рентгеношаблона для глубокой рентгеновской литографии с различными экспериментальными топологиями – микрофлюидные модули, сеточные элементы для фильтрации терагерцевого излучения и т.п. Изготовлены образцы глубоких микроструктур из негативного резиста SU-8 и рентгеношаблон с 20 мкм. Поглощающим слоем золота для глубокой рентгенолитографии в спектральном диапазоне СИ 1-3 Å.

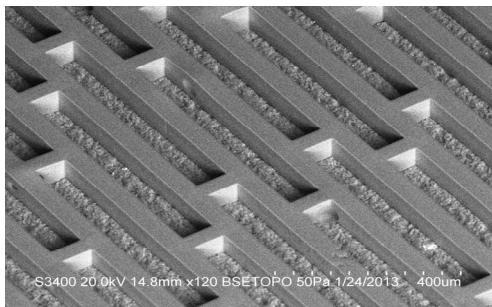
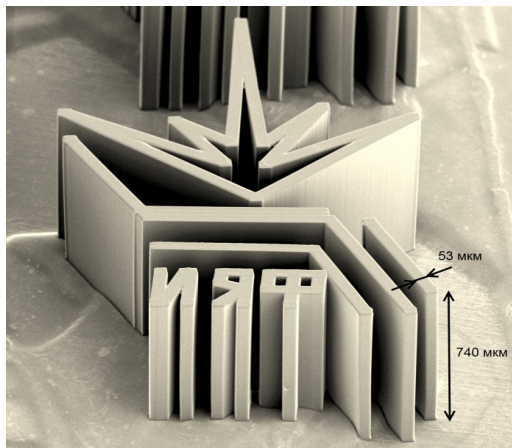


Рис. 6.2.5.

6.2.3. Станции «Аномальное рассеяние» и «Прецизионная дифрактометрия»

Станция «Аномальное Рассеяние» предназначена для исследований структуры материалов методами рентгеновской дифракции с высоким угловым разрешением и с использованием эффекта аномального рассеяния.

Участвующие организации:

- Институт катализа им.Г.К.Борескова СО РАН, г.Новосибирск;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г.Новосибирск;
- Институт неограниченной химии им.А.В.Николаева СО РАН, г.Новосибирск;
- Томский государственный университет, г.Томск;
- Томский политехнический университет, г.Томск;
- Институт физики полупроводников им.А.В.Ржанова СО РАН, г.Новосибирск.

Станция «Прецизионная Дифрактометрия» предназначена для исследований структуры материалов методами рентгеновской дифракции с разрешением по времени и в условиях высоких температур и реакционных сред.

Участвующие организации:

- Институт катализа им.Г.К.Борескова СО РАН, г.Новосибирск;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г.Новосибирск;
- Институт неограниченной химии им.А.В.Николаева СО РАН, г.Новосибирск;
- Новосибирский государственный университет, г.Новосибирск;
- Томский государственный университет, г.Томск;
- Томский политехнический университет, г.Томск.

В 2012 году работы на станциях проводились при финансовой поддержке следующих проектов:

- Проект РФФИ № 11-03-00498-а «Экспериментальное и теоретическое исследование механизма автоколебаний в реакциях каталитического окисления метана, этана и пропана на никеле»;
- Проект РФФИ № 11-08-00625-а «Исследование механизмов формирования нанокристаллического состояния сверхтвердых покрытий, получаемых методом вакуумно-дугового испарения композитных катодов с плазменным ассистированием»;
- Проект РФФИ № 11-08-98077-р_сибирь_а «Исследование кинетики процессов абсорбции, миграции и пространственной локализации водорода в металлах»;

- Проект РФФИ № 12-03-01091-а «Азот-содержащие углеродные нановолокна: механизмы каталитического синтеза, свойства и применение получаемых нанокомпозитов».

Примеры работ, выполненных на станциях «Аномального рассеяния» и «Презиционная дифрактометрия»:

1. *Исследование фазового состава тонких пленок смешанных оксидов гафния-скандия, полученных методом осаждения из газовой фазы (CVD).*

Одним из направлений деятельности Института неорганической химии им.А.В.Николаева является синтез новых материалов для микро- и нанoeлектроники. В настоящее время, когда элементы интегральных схем достигли нанометрового размера, традиционные материалы становятся непригодными – подзатворный диэлектрик в полевых транзисторах (MOS FET устройствах) становится слишком тонким, что приводит к увеличению токов утечки. Поэтому необходим материал с высокой диэлектрической константой, так называемый high-k диэлектрик. В качестве таких материалов рассматриваются простые и сложные оксиды, которые имели бы минимальное несоответствие параметров решетки с кремниевой подложкой. Недавно было предложено использование для этих целей смешанных оксидов гафния, обладающих высоким значением диэлектрической константы и термодинамической совместимостью с кремнием. Данная работа посвящена исследованию тонких пленок сложного оксида гафния-скандия, получаемых методом химического осаждения из газовой фазы (Chemical Vapor Deposition).

Исследование было проведено на станции «АномальноеРассеяние» в геометрии скользящего падения. Полученные рентгенограммы демонстрируют орторомбическую структуру оксида гафния, стабилизированную скандием. Изменение параметра элементарной ячейки с ростом концентрации скандия связано с образованием твердого раствора. На Рис.6.2.6. показана зависимость положения одного из наиболее интенсивных рефлексов материала от содержания скандия в образце. На графике видно, что в области концентраций скандия 9-14 ат.% параметр решетки не зависит от концентрации, что свидетельствует об образовании фазы переменного состава, близкой по структуре к $\text{Sc}_4\text{Hf}_3\text{O}_{12}$. В этой же области концентраций материал имеет наибольшее значение диэлектрической константы – 42-44, а токи утечки не превышают значений 10^{-8} А/см². Таким образом, можно утверждать, что синтезирован тонкопленочный диэлектрический материал, характеризующийся высокой диэлектрической проницаемостью, химической и термической стабильностью, малым током утечки. Ширина запрещенной зоны пленок оценивается в диапазоне 4,5-6 эВ в зависимости от концентрации скандия.

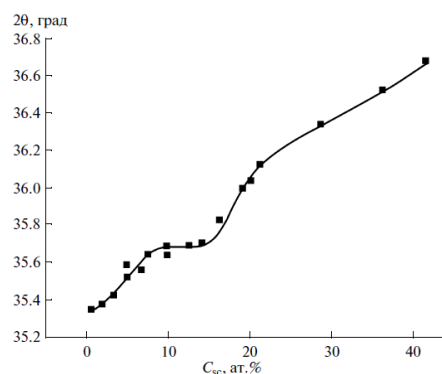


Рис. 6.2.6. Зависимость положения рефлекса 101 материала $\text{HfO}_2\text{-Sc}_2\text{O}_3$ от концентрации скандия в образце.

2. *Исследование процессов объемной диффузии кислорода в сложных оксидах со структурой перовскита.*

Сложные оксиды со структурой перовскита вследствие большого разнообразия проявляемых свойств являются привлекательными материалами для различных областей применения. Например, некоторые перовскитоподобные оксиды проявляют свойства высокой ионной, электронной и смешанной электронно-ионной проводимости, что является одним из требований, предъявляемых к материалам для катодов твердооксидных топливных элементов и для мембран с избирательной проницаемостью по кислороду. Отличительной особенностью оксидов с такой структурой является возможность катионного замещения в широком диапазоне концентраций, причем такое замещение является одним из основных способов модификации свойств материала.

В работе представлен рентгенографический метод по определению химического коэффициента диффузии кислорода. Его основное отличие от других, таких как, например, метод релаксации проводимости, термогравиметрический или манометрический, заключается в том, что этот метод позволяет следить не за электрическими характеристиками или содержанием кислорода в оксиде, а наблюдать непосредственно структурные изменения в образце в процессе химической диффузии компонентов.

Эксперименты были выполнены для нескольких серий образцов, здесь в качестве примеров приводятся две серии измерений. Исходные образцы $\text{LaFe}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}\text{O}_3$ (LFNO, прокаленный при 900°C) и $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Fe}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}\text{O}_3$ (LSFNO, прокаленный при 1200°C) были синтезированы в Лаборатории катализаторов глубокого окисления Института катализа с использованием оригинального метода полимеризованных сложнэфирных предшественников (метода Пекини).

Эксперименты включали в себя несколько этапов. Сначала образцы нагревались в вакууме ($\sim 10^{-4}$ мБар) со скоростью 10 °C/мин до 900 °C, при этом производилась регистрация дифрактограмм со временем накопления 1 минута на кадр. По достижении этой тем-

пературы образец выдерживался ~ 1 ч в вакууме; затем производился напуск в камеру атмосферы (в случае LFNO) либо газовой смеси $1\%O_2+99\%N_2$ (в случае LSFNO), в которой образец находился ~ 1 ч; после этого камера снова откачивалась и в течение нескольких часов наблюдалась релаксация. Время экспозиции на этих этапах составляло 3 минуты на кадр. Затем образец охлаждался в вакууме со скоростью $10^\circ C/мин$ до комнатной температуры и, аналогично этапу нагрева, производилась запись дифрактограмм со временем накопления 1 минута на кадр. Регистрируемый диапазон углов дифракции составлял $\sim 30^\circ-60^\circ$.

Для обоих образцов в вакууме наблюдается медленное расширение решетки (участки 1, 3 на Рис.6.2.7.), которое вызвано изменением кислородной стехиометрии. Эти релаксационные кривые хорошо описываются уравнением:

$$\ln\left(1 - \frac{\Delta\omega_t}{\Delta\omega_\infty}\right) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 Dt}{R^2}, \quad (6.2.3)$$

где $\Delta\omega_t$, $\Delta\omega_\infty$ — изменение массы образца через время t и после достижения равновесия соответственно, D — коэффициент химической диффузии, R — радиус сферической частицы, t — время, и позволяют получить значение приведенного коэффициента диффузии D/R^2 . Для LFNO и LSFNO его значение составило $(1,97 \pm 0,01) \cdot 10^{-5} c^{-1}$ и $(1,67 \pm 0,03) \cdot 10^{-5} c^{-1}$ соответственно. Для расчета использовался участок 3 кривых зависимости объема ячейки от времени. Заметно, что зависимость 2 на Рис. 6.2.7 в начале имеет более резкий наклон, это может свидетельствовать о наличии более быстрого процесса, «хвост» которого удалось зарегистрировать. Из уравнения видно, что коэффициент диффузии может существенно варьироваться в зависимости от значения R . Можно сделать оценку коэффициента диффузии, исходя из значения R в 100 нм, соответствующего среднему значению радиуса частиц в образцах по данным электронной микроскопии. Для LFNO и LSFNO он составляет, соответственно, $\sim 2 \cdot 10^{-15} cm^2 \cdot c^{-1}$ и $\sim 1,5 \cdot 10^{-15} cm^2 \cdot c^{-1}$.

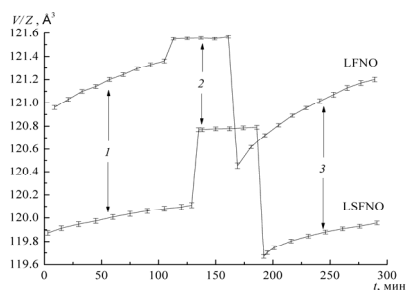


Рис. 6.2.7. Зависимость объема на одну формульную единицу от времени для LFNO и LSFNO в процессе эксперимента, температура $900^\circ C$. Цифрами обозначены: 1 — выдержка в вакууме после нагрева; 2 — напуск атмосферы (LFNO) или газовой смеси $1\%O_2+99\%N_2$ (LSFNO); 3 — откачка камеры после насыщения образцов кислородом.

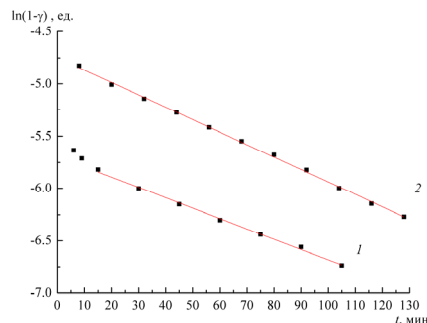


Рис.6.2.8. Зависимость от времени параметра γ — отношения объемов элементарной ячейки образца через время t и равновесного, соответственно, для расчета коэффициента диффузии по представленной формуле. Цифрами обозначены: 1 — зависимость для LSFNO; 2 — зависимость для LFNO.

Оцененные таким образом коэффициенты диффузии представляются в значительной мере заниженными. С другой стороны, изменение объемов элементарных ячеек обоих образцов при подаче или сбросе давления происходит за короткое время порядка 2-3 минут. Это может означать, что в системе происходят два процесса с различными скоростями, и оба они связаны с изменением кислородной стехиометрии. Первый процесс, вызывающий сравнительно быстрое, в течение нескольких минут, изменение симметрии структуры и увеличение или уменьшение объема элементарной ячейки, обусловлен миграцией кислорода в координационной сфере катионов никеля. Коэффициент химической диффузии, оцененный методом релаксации или электропроводности образца LSFNO, в этом случае составляет порядка $10^{-7} cm^2 \cdot c^{-1}$ при $700^\circ C$. Второй процесс, проявляющийся в достаточно медленном изменении объема элементарной ячейки, представляет собой выход остаточного кислорода из координационной сферы катионов железа. Кроме того, медленное изменение объема ячейки может быть следствием сопряженной миграции катионов никеля и железа к поверхности частиц с образованием катионных вакансий в объеме, поскольку коэффициенты химической диффузии катионов, согласно литературным данным, имеют близкий порядок величины.

3. Исследование процессов сорбции аммиака на композициях «соль в пористой матрице».

Композитные адсорбенты «соль в пористой матрице» (КСПМ) рассматривают как перспективные для разнообразных адсорбционных приложений, в том числе для энергосберегающих процессов адсорбционного преобразования тепла. Благодаря протеканию химической реакции между солью и парами сорбтива (воды, спиртов, аммиака и др.) КСПМ обладают высокой сорбционной емкостью, низкой температурой регенерации, а также возможностью направленно ре-

гулировать их сорбционные характеристики. Это позволяет конструировать материалы, свойства которых наилучшим образом согласованы с требованиями конкретного адсорбционного процесса, и тем самым, повысить их эффективность. Введение в поры матрицы двойных солевых систем является эффективным инструментом для синтеза адсорбентов с заданными сорбционными свойствами. Данная работа посвящена изучению механизма сорбции аммиака на композитном адсорбенте на основе системы ($\text{BaCl}_2 + \text{BaBr}_2$) в порах вермикулита, который был направленно сконструирован для адсорбционного холодильного цикла.

Образец помещали в камеру XRK-900, вакуумировали до остаточного давления 0,1 мбар и нагревали до 423 °К в течение 1 часа, затем охлаждали до 303 °К. Давление контролировали с помощью датчика давления типа DM5001E-Y2. На стадии адсорбции камеру заполняли аммиаком до давления $4,9 \pm 0,1$ бар при одновременной фиксации рентгенограмм до полного насыщения образца. На стадии десорбции насыщенный аммиаком при давлении $4,9 \pm 0,1$ бар образец нагревали со скоростью 5 °С/мин в интервале температур от 303 до 433 К. Время экспозиции - 1 мин/кадр.

Рентгенограммы образца в процессе адсорбции/десорбции представлены на Рис. 6.2.9. В процессе адсорбции интенсивность рефлексов (112) и (211), относящихся к фазе твердого раствора солей BaNaI_2 , постепенно уменьшается вплоть до полного их исчезновения (Рис. 6.2.9а). Одновременно с этим появляются новые рефлексы, по-видимому, относящиеся к фазе аммиачного комплекса $\text{BaNaI}_2 \cdot n\text{NH}_3$. Образования каких-либо промежуточных фаз не было зафиксировано. Рефлексы, относящиеся к фазе аммиачного комплекса твердого раствора $\text{BaNaI}_2 \cdot n\text{NH}_3$, в процессе сорбции сдвигаются в сторону больших углов (Рис. 6.2.9а). Это свидетельствует об уменьшении параметров кристаллической решетки комплекса $\text{BaNaI}_2 \cdot n\text{NH}_3$ в процессе адсорбции аммиака. Действительно, межплоскостные расстояния, рассчитанные для рефлексов аммиачного комплекса $\text{BaNaI}_2 \cdot n\text{NH}_3$, с течением времени сначала уменьшаются, а затем перестают изменяться (Рис.6.2.10а). Такое поведение межплоскостных расстояний можно объяснить тем, что в процессе сорбции происходит обогащение аммиачного комплекса $\text{BaNaI}_2 \cdot n\text{NH}_3$ хлорид-ионами.

При нагреве композитного сорбента, насыщенного парами аммиака, наблюдалось постепенное исчезновение рефлексов, относящихся к фазе $\text{BaNaI}_2 \cdot n\text{NH}_3$, и появление рефлексов, относящихся к фазе BaNaI_2 (Рис. 6.2.9б). Никаких промежуточных кристаллических фаз при термическом разложении аммиаката обнаружено не было. В процессе десорбции наблюдался сдвиг рефлексов, соответствующих фазе $\text{BaNaI}_2 \cdot n\text{NH}_3$, в область меньших углов. Зависимость величины межплоскостного расстояния от температуры носит нелинейный характер (Рис. 6.2.10б). Это указывает на то, что кроме термического расширения образца в процессе его нагрева происходит также изменение со-

става фазы аммиачного комплекса, приводящее к увеличению межплоскостного расстояния. По-видимому, в процессе нагрева и разложения комплекса $\text{BaNaI}_2 \cdot n\text{NH}_3$ происходит обеднение хлорид-ионами. Таким образом, в процессе образования и разложения аммиачного комплекса происходит изменение его химического состава. Поскольку BaBr_2 характеризуется более высоким сродством к аммиаку, то в процессе сорбции вначале образуется комплекс, обогащенный бромид-ионами, который в процессе дальнейшей сорбции постепенно насыщается хлорид-ионами. В процессе разложения комплекса $\text{BaNaI}_2 \cdot n\text{NH}_3$, напротив, происходит обогащение его состава бромид-ионами.

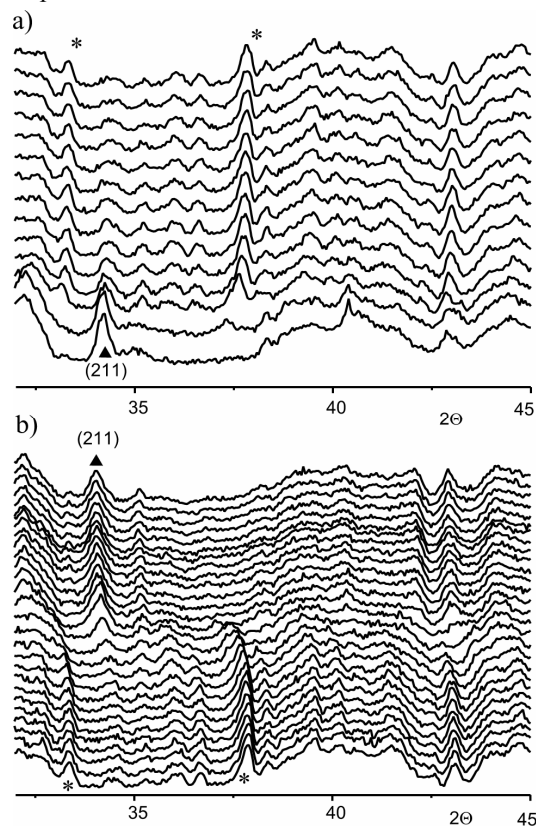


Рис. 6.2.9. Данные РФА *in situ* композита BaClBr . а) адсорбция; б) десорбция; (*) – аммиачный комплекс $\text{BaNaI}_2 \cdot n\text{NH}_3$, (▲) твердый раствор BaNaI_2 .

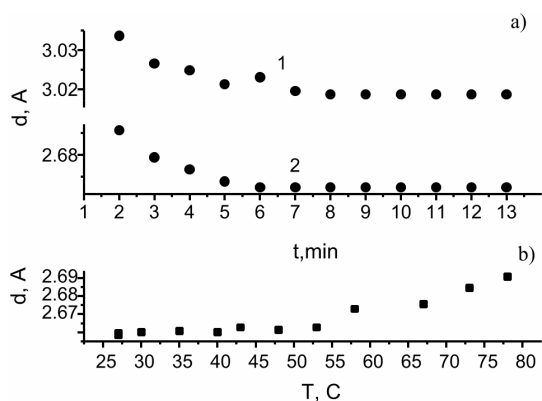


Рис. 6.2.10. Изменение межплоскостных расстояний рефлексов аммиачного комплекса: а) адсорбция; б) десорбция.

6.2.4. Станция «Рентгенофлуоресцентный анализ»

Станция предназначена для определения элементного состава образцов различного происхождения: геологических пород, биологических тканей, аэрозолей и других, 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 химической кинетики и горения им. В.В.Воеводского СО РАН, г. Новосибирск,
- Центральный Сибирский Ботанический Сад СО РАН, г. Новосибирск,
- Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Новосибирска,
- Институт Ядерной Физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск.
- Институт терапии СО РАНМ, г. Новосибирск,
- Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,
- Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск,
- Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск,
- Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск,
- Институт геологии и геофизики АН КНР, г. Пекин,
- Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита,
- Институт археологии и этнографии СО РАН, г. Новосибирск,
- Институт неорганической химии А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирска.

В 2012 году работы на станциях проводились при финансовой поддержке следующих проектов:

Работы проводилась в рамках программы фундаментальных исследований СО РАН, Научный проект

V.39.2.3. «Исследование механизмов формирования и распространения аэрозолей в атмосфере. Физико-химические процессы трансформации и миграции дисперсных веществ в объектах окружающей среды», а также в рамках междисциплинарного интеграционного проекта Президиума СО РАН №34 «Цикличность в биогеологических седиментационных системах Центральной Азии на абсолютной временной шкале голоцена: глобальный отклик солнечно-земных связей», в рамках проекта РФФИ № 12-05-31324 «Исследование закономерностей распределения урана и фосфора в осадках озера Байкал, океанических железомарганцевых конкрециях и отложениях кальдеры Узон с целью выявления короткопериодических осцилляций климата (по данным ядерно-физических методов анализа)», в рамках проекта РФФИ 10-06-00406-а «Волосы из древних погребений, как объект междисциплинарного исследования (изучение останков носителей культуры хунну)», в рамках междисциплинарного интеграционного проекта Президиума СО РАН № 50 «Реконструкция годичной динамики ледников Восточной Сибири за последние тысячелетия на основе изучения донных осадков прогляциальных озер и наземных разрезов», в рамках Программы инновационного развития уникального научного приборостроения СО РАН Проект № 6.

Примеры работ, проведенных на станции:

1. *Исследование суточной и сезонной изменчивости массовой концентрации и химического состава атмосферных аэрозолей на континентальной территории Западной Сибири.*

В 2012 году были продолжены исследования по изучению суточной и сезонной изменчивости многоэлементного состава атмосферных аэрозолей, отобранных в п. Ключи и в г. Новосибирске на стационаре центра мониторинга окружающей среды. В летний период 2012 году, когда наблюдались интенсивные пожары на северной территории Томской области и в Красноярском крае, пик задымленности в г.Новосибирске визуально наблюдался 4-8 июля и 24 – 28 июля, что подтверждается на картах космических снимков горения лесных природных массивов в летний период 2012 г. Исследование образцов атмосферного аэрозоля в пред-, дымовой и после дымовой периоды, позволило сделать вывод, что перенос дымовой эмиссии на дальние расстояния от источника горения, не оказывает влияния на элементный состав минеральной составляющей аэрозоля воздуха. Зафиксированный существенный рост массовой концентрации субмикронной фракции атмосферного аэрозоля в задымленные периоды 2012 года связан с высоким содержанием органического вещества в атмосфере.

2. *Исследование роли атмосферных аэрозолей в миграции химических элементов в тканях живых организмов и в объектах окружающей среды*

В рамках этих исследований проводился анализ многоэлементного состава тканей животных (шерсть), человека (кровь), растительности и почв, на которых произрастают анализируемые растения.

Методом корреляционного анализа показано наличие взаимосвязи между совокупностью концентраций элементов, содержащихся в атмосферных аэрозолях Горного Алтая и в шерсти серой украинской, и галловейской пород скота, и зубров, завезённых для акклиматизации на этой территории. На рисунке графически отображена зависимость элементов, содержащихся в шерсти галловейской породы коров и в атмосферном аэрозоле Горного Алтая.

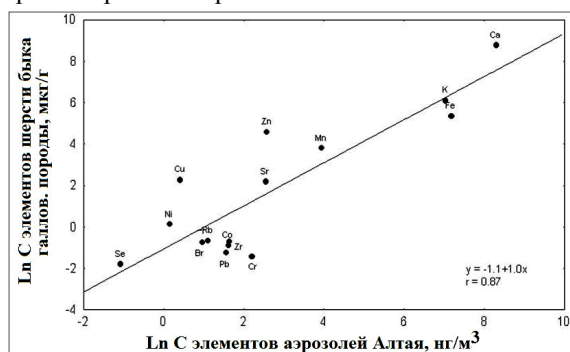


Рис.6.2.11.

Используя полученные данные по содержанию химических элементов в шерсти ценных пород скота, были установлены межпородные и межвидовые различия в накоплении химических элементов. Результаты позволяют сделать вывод: чем больше генетические различия между травоядными животными, тем значительнее различия в содержании химических элементов.

Совместные исследования с НИИ терапии СО РАМН позволили выявить взаимосвязь химических элементов с факторами риска хронических неинфекционных сердечно-сосудистых заболеваний в популяции г. Новосибирска. Показано, что при определенных концентрациях химических элементов создается фон для развития факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний.

3. Исследование цикличности в биогеологических седиментационных системах Центральной Азии на абсолютной временной шкале голоцена.

В рамках поставленной задачи были исследованы керны варвных озер Центрально-Азиатского региона для получения временных рядов, отражающих динамику биологических, литолого-геохимических и физико-химических процессов осадкообразования на абсолютной временной шкале последних тысячелетий. Основные объекты исследования – озера юга Западной Сибири, имеющие донные осадки с ежегодноминированными слоями (варвами) - оз. Шира, оз. Беле, оз. Иткуль, оз. Утячье. Сканирующий микроанализ образцов осадков проводился на экспериментальной станции РФА-СИ с шагом 100 и 200 микрон на энергиях возбуждения 12, 17 и 21 кэВ. Обработка полученных профилограмм предусматривала выделение отдельных слоев и детальное исследование их внутреннего строения.

Для исследования элементного состава образцов кернов донных осадков методом рентгенофлуорес-

центного микроанализа с высоким пространственным разрешением были проведены методические работы по созданию однокоординатного сканера с рентгеновской фокусирующей оптикой – поликапиллярной линзой. Использование рентгеновской оптики дает ряд преимуществ, во-первых, минимальный размер фокуса может составлять порядка 10 мкм, во-вторых, выигрыш в интенсивности, по сравнению с коллимированным отверстием, может составлять порядка 10^3 - 10^4 .

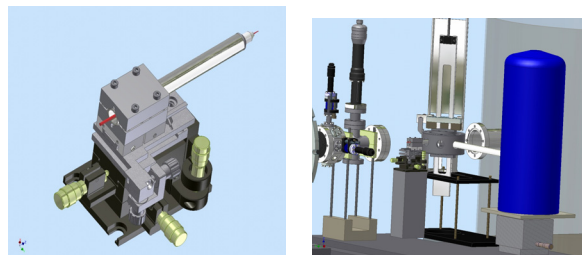


Рис. 6.2.12. Рентгено-оптический модуль (слева). Модель одномерного сканера с установленным рентгено-оптическим модулем (справа).

4. Моделирование седиментационного процесса в оз. Сихайлонгван.

Аналитические данные о сезонном распределении микроэлементов в годовых слоях последних десятилетий в совокупности с данными седиментационных ловушек, полученных для образцов оз. Сихайлонгван, позволили начать разработку геохимической модели сезонного осадконакопления в системах карбонатных и терригенно-органогенных осадков. При этом экспериментальные данные были использованы для верификации термодинамических расчетов процессов карбонатообразования в сложных биогеохимических седиментационных системах.

Накопленные результаты для системы оз. Сихайлонгван позволяют говорить о нескольких источниках осадочного материала и их геохимических индикаторах. Классификация «терригенных» и «органогенных» элементов позволяет перейти к поиску климатически-зависимых геохимических индикаторов, содержание которых в разных слоях донных осадков будут отражать вариации основных климатических параметров – температуру, количество атмосферных выпадений, скорость ветра и т.д. Учитывая аналитические характеристики и природную распространенность элементов, был использован временной ряд содержания Zr. Временной ряд Zr (осадки озера Сихайлонгван) на временном интервале 700-2000 г.н.э. был обработан методом EEMD (Huang N.E. et al., Reviews of Geophysics, 2008) с выделением 7 циклов с периодами от 4 до 470 лет.

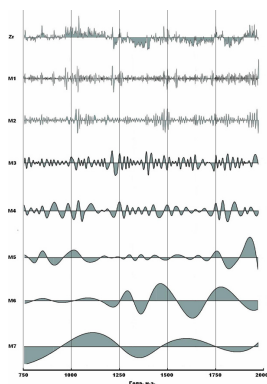


Рис. 6.2.13. Для построения временных рядов использована возрастная модель, полученная подсчетом визуально выделяемых в шлифах донных осадков оз. Сихайлонгван годовых слоев [G.Chu et al, 2009]. Модель верифицирована AMS ^{14}C датировками.

5. Исследование донных отложений термальных озер кальдеры вулкана Узон.

На первом этапе работы было проведено послойное сканирование кернов донных отложений с энергией возбуждения 27, 31 и 40 кэВ, с шагом 1 мм. Получены количественные распределения элементов группы К-Те вдоль всего профиля разреза.

С помощью метода атомно-абсорбционного анализа были получены значения концентраций различных элементов в некоторых точках вдоль профиля сканирования. Было проведено сопоставление данных полученных методом РФА-СИ с данными, полученными методом атомной адсорбции. Также с помощью послойного сканирования РФА-СИ представляется возможным выявить быстро осциллирующие колебания в концентрациях элементов, что невозможно осуществить другими методами анализа. Уже само получение распределений концентрации данных элементов в разрезе термальных озер представляет большой интерес, так как подобные работы были выполнены впервые.

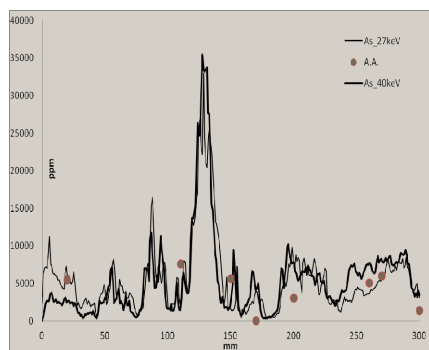


Рис. 6.2.14. Распределение мышьяка в разрезе озера Фумарольное (Кальдера вулкана Узон, Камчатка), абсолютные значения в ppm для энергий 27 и 40 кэВ. Точки - абсолютные значения полученные методом атомной абсорбции.

6. Изучение останков носителей культуры хунну.

Методом РФА-СИ были проанализированы волосы, извлечённые из древних погребений носителей культуры хунну нескольких курганов Наил-Улы. Определены содержания около 20 химических элементов в исследуемых образцах. Аномальными оказались содержания меди и цинка во всех исследуемых образцах.

Для того чтобы понять причины повышенных концентраций меди и цинка, были проведены исследования методами высоко разрешающей рентгеновской компьютерной томографии, сканирующей электронной микроскопии, методами XAFS, давшие дополнительную информацию о структуре волос.

7. Реконструкция параметров дегляциации ледников, с шагом год-десятилетие, на основе расшифровки минералого-геохимических сигналов из донных осадков приледниковых озер.

Рентгенофлуоресцентным методом с использованием в качестве источника первичного возбуждения синхротронного излучения (РФА-СИ) исследован элементный состав керна (83 см длиной) с шагом 1 мм из прогляциального озера Гитара, расположенного у подножия ледника горы Черского (Байкальский хребет, Прибайкалье). Были определены концентрации породообразующих и следовых элементов: К, Са, Ti, Mn, Fe, редких и рассеянных элементов: Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ba, La, Ce. Для определения количественных данных по концентрациям элементов, учитывающих влажность кернов, были отобраны образцы из плашек, материал высушен, из него приготовлены таблетки и проанализированы методом внешнего стандарта (стандарт Байкальского ила BIL-1). Также заканчивается сканирование (РФА-СИ) трех кернов, полученных в ходе экспедиционных работ 2012 года. В данной работе исследуется состав элементов, являющиеся маркерами физического выветривания (Y, Th, Ga, Rb, Zr, Nb и Rb/Sr) и, как следствие, увеличения потока в озеро кластического материала пелитовой и мелкоалевритовой размерности.

Распределение элементов вдоль керна описывает следующие процессы, происходящие при накоплении осадков: процесс выщелачивания пород и почв водосборного бассейна озера, интенсивность накопления автохтонного материала и интенсивность процесса физического выветривания силикатов и, как следствие, увеличение потока в озеро кластического материала пелитовой и мелкоалевритовой размерности.

8. Создание спектрометра для рентгенофлуоресцентного анализа нанопримесей редких элементов методом полного внешнего отражения.

Основной целью данного проекта являлась разработка метода рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) жидких проб, используя технику полного внешнего отражения (ПВО), для определения сверхнизких концентраций редких (тяжёлых) элементов, а также их химического состояния.

Опытный образец РФА-ПВО спектрометра был создан и введён в эксплуатацию на эксперименталь-

ной станции РФА-СИ. Проведены тестовые испытания, которые показали, что при работе в режиме ПВО значительно падает фон рассеянного излучения и сигнал от подложки (в качестве подложки использовался кристалл Si (111)).

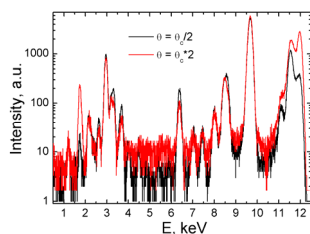
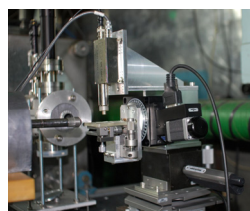


Рис. 6.2.15. Спектрометр РФА-ПВО на экспериментальной станции (слева). Сигнал детектора при углах меньше и больше критического (справа).

6.2.5. Станция «Дифрактометрия с использованием жесткого рентгеновского излучения».

Станция предназначена для дифракционных исследований структуры вещества при высоких давлениях и температурах.

Участвующие организации:

- Институт геологии и минерологии СО РАН;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН;
- Институт химии твердого тела УрО РАН;
- Институт неорганической химии СО РАН.

В 2012 году работы на станции проводились при финансовой поддержке следующих проектов:

- Программа фундаментальных научных исследований РАН ОНЗ-9 «Петрология, минералогия и геохимия метаморфических пород, образованных при разных P-T параметрах, флюидном режиме и геодинамических условиях (на примере Центральной Азии)», 2012-2014 гг., заказчик РАН;
- Проект РФФИ 10-05-00483-а «Структурная эволюция Са,Na-цеолитов и их микропористых гетеросиликатных аналогов при высоких давлениях» 2010-1012 гг.;
- Проект РФФИ 11-05-01121-а «Динамика решетки микропористых минералов при их взаимодействии с водной средой при высоких давлениях», 2011-2013 гг.;
- Проект РФФИ 12-05-31431-мол-а «Источники калия в субдуцирующей океанической литосфере и его поведение в процессе субдукционного метаморфизма», 2012-2014 гг.;
- Проект РФФИ 12-05-00841-а «Условия стабильности углеводородных соединений при высоких давлениях и температурах и их значение для глубинного строения Земли и планет», 2012-2014 гг.

Примеры работ, проведенных на станции:

1. В рамках исследования вхождения воды в структуру силикатов при высоких P-T-параметрах в связи с проблемой ее транспорта в земной коре изучен переход в природном кордиерите при высоком водном давлении 45-50 кбар. Избыточная гидратация, вызывающая нарушение регулярного сжатия (Рис. 6.2.16), происходит за счет постепенного заселения молекулами H_2O позиции в центре б-ных колец. Анизотропная деформация структуры и уменьшение сжимаемости вдоль оси *a* при $P > 50$ кбар связываются с ориентацией водородных связей молекулы H_2O в б-ном кольце, препятствующих его сжатию.

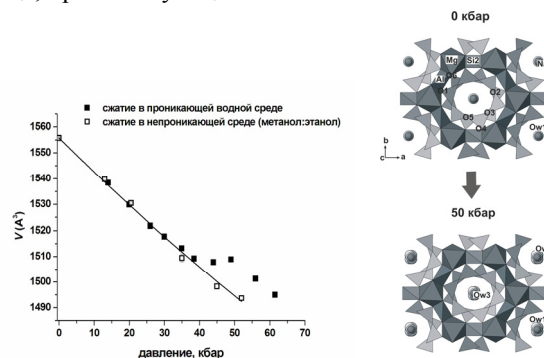


Рис. 6.2.16. Нарушение регулярного сжатия кордиерита в водной среде и соответствующее изменение его структуры (появление новых позиций H_2O и деформация б-ного кольца).

2. В рамках исследования уравнений состояния полициклических углеводородов при высоких давлениях и температурах в связи с моделированием состава глубинных флюидов получены кривые сжимаемости и температурные зависимости упругих параметров для нафталина (Рис. 6.2.17). Параметры сжимаемости нафталина при использовании уравнения состояния Вине для изотермы 298 К: $V_0 = 361 \text{ \AA}^3$, $K_0 = 9,3 \text{ ГПа}$ и $K' = 6,0$.

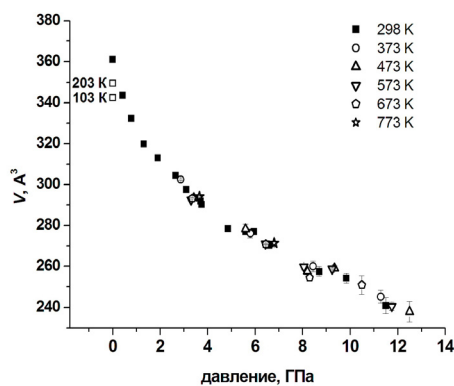


Рис. 6.2.17. Барическая зависимость объема элементарной ячейки нафталина $C_{10}H_8$ (простр. гр. $P 21/c$) при 298-773 К (пустые квадраты – данные низкотемпературной съемки при атмосферном давлении).

3. Исследование стадийности фазообразования в условиях высоких температур при химическом взаимодействии никеля и кобальта с жидким оловом, индием, висмутом и др. металлами и сплавами.

Взаимодействие в системе твердое-жидкое протекают по двум основным направлениям. Один – диффузия, за счет которой происходит проникновение атомов одного сорта в слой другого вещества и образование в пограничном слое химических соединений. Второй – растворение твердого компонента или продукта реакции в жидком компоненте и образование кристаллитов либо на границе между твердой и жидкой фазой, либо в околограничном пространстве в жидкой фазе.

Данные процессы протекают при взаимодействии одновременно, но с разными скоростями. Для установления какой, из процессов превалирует в ходе взаимодействия, исследования проводятся при температурах на 2-5 °С ниже температуры появления жидкой фазы, и при температурах на 2-5 °С выше этой температуры.

Было установлено, что в системах кобальт-олово и кобальт-индий взаимодействие начинается только в присутствии жидкой фазы, а в системах никель-олово и никель-индий взаимодействие идет и в твердой фазе.

6.2.6. Станция «Рентгеновская микроскопия и томографии».

Станция «Рентгеновская микроскопия и томография» предназначена для исследования структуры образцов с высоким пространственным разрешением.

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.
- Институт истории материальной культуры РАН, г. Санкт-Петербург.

В 2012 году работы на станции проводились при финансовой поддержке следующих проектов:

1. Грант РФФИ № 09-05-00985-а «Зонально-секториальное строение алмазов из кимберлитовых месторождений Якутии как отражение эволюции условий их образования».
2. Грант РФФИ №12-03-13502-офи_м_РА «Исследование кинетики физикохимических процессов при действии импульсного лазерного излучения на кристаллические конденсированные системы».
3. Проект СО РАН №24 «Неизвестные страни-

цы истории и культуры древних цивилизаций 1 в. до н.э. – 1 в.н.э. (империи Хань, Парфия, Римская империя, Империя хунну) по результатам междисциплинарных исследований археологических находок из «Царских» могил Северной Монголии».

Темы работ 2012года:

- Исследования дефектов и микровключений в природных алмазах из кимберлитовых месторождений Якутии.
- Получение данных о микроструктуре высокоэнергетических материалов методом вычислительной рентгеновской томографии (ВРТ) с высоким пространственным разрешением.
- Контроль качества рентгеношаблонов для LIGA-технологии.
- Исследование археологических находок разрушающим методом ВРТ.

Для исследования кристаллической структуры природных алмазов из кимберлитовых месторождений Якутии использовался метод рентгеновской топографии (РТ). Уникальные свойства синхротронного излучения (высокая интенсивность, малая угловая расходимость, широкий спектр, естественная поляризация) позволяют работать на станции в схеме трехкристальной топографии, практически нереализуемой при работе с рентгеновскими аппаратами из-за очень длительных экспозиций. Пространственное разрешение получаемых изображений составляет 2-3 мкм для монохроматического излучения с длиной волны 1,13 Å. Разработанная нами схема обеспечивает максимально возможную чувствительность к разориентации кристаллографических плоскостей на уровне нескольких угловых секунд Рис. 6.2.18(а).

В качестве дополнения к РТ использовался метод, основанный на дифракции обратно рассеянных электронов (ДОРЭ). Исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе «Hitachi S-3400» оснащённого приставкой «Oxford Instruments HKL». С помощью ДОРЭ мы проводим картирование кристаллических ориентаций и микродеформаций в образцах алмаза с пространственным разрешением 5-10 мкм. Точность определения направления кристаллографических осей составляет доли градуса, и в основном, зависит от качества поверхности образца. ДОРЭ актуальна при исследовании блочных или сросшихся кристаллов алмаза, с разориентацией кристаллографических плоскостей на уровне нескольких градусов Рис.6.2.18(б). При этом РТ дает детальную информацию лишь об отдельных блоках кристалла, а полная картина может быть получена методом ДОРЭ.

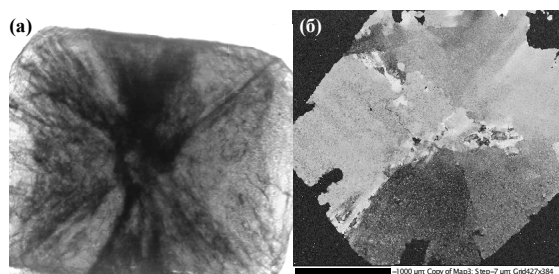


Рис. 6.2.18. Изображение кристаллов алмаза, полученное с помощью РТ (а) и методом ДОРЭ (б).

Для понимания взаимосвязи микроструктуры высокоэнергетических материалов с кристаллическим строением образца были выполнены эксперименты с использованием методов вычислительной рентгеновской томографии и дифрактометрии.

Исследования были выполнены на миниатюрных (характерный размер 0,8 мм) образцах, вырезанных из капель смеси ФТДО/ДНП, кристаллизованных при различных температурных условиях. В качестве примера на рисунке 6.2.19. представлены изображения томографических срезов образцов смеси ФТДО/ДНП=75/25, закристаллизованных при температурах $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Толщина полученного среза составляет 2 мкм, пространственное разрешение находится на уровне 3–4 мкм.

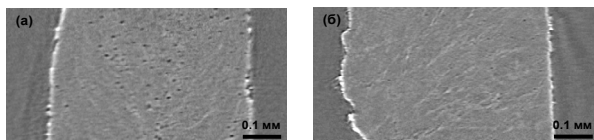


Рис. 6.2.19. Томографический срез образцов смеси ФТДО/ДНП=75/25 (а) полученный при температурах $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б).

Образцы отличаются концентрацией пор, представленных на рисунке черным цветом. По-видимому, при быстрой кристаллизации, происходящей при низких температурах, газовые пузыри, образующиеся в результате химической реакции, не успевают быть вытеснены растущими кристаллитами на поверхность образца.

При использовании в качестве добавки 3% наноразмерного катализатора оксида титана (Рис. 6.2.20) концентрация пор в образце остается низкой и не зависит от температуры кристаллизации. Объяснение этого факта требует дополнительных исследований.

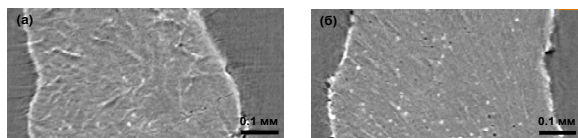


Рис. 6.2.20. Томографический срез образцов смеси ФТДО/ДНП=75/25 с добавлением 3% TiO_2 (а) полученный при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и (б) при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Светлые точки на рисунке 6.2.20 представляют собой агломераты наночастиц TiO_2 микрометрового размера, что свидетельствует о неравномерности распределения катализатора в объеме образца.

На всех томографических срезах присутствуют белые полосы, которые обусловлены границами раздела кристаллитов и косвенным образом свидетельствуют о направлении их роста.

Из снятых методом Дебая-Шеррера дифрактограмм на рисунке 6.2.21 видно, что рост кристаллитов в образце имеет преимущественное направление, что обуславливает неравномерность интенсивности в дифракционных кольцах.

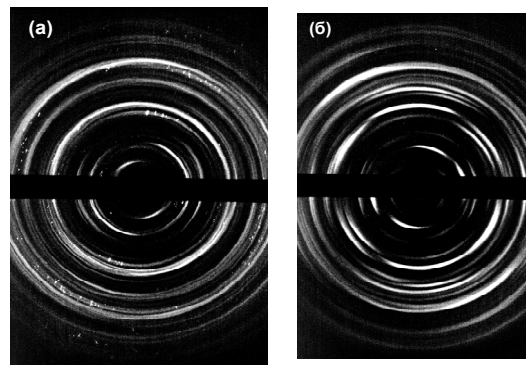


Рис. 6.2.21. Дифрактограммы образцов (а) ФТДО/ДНП=75/25 ($+20\text{ }^{\circ}\text{C}$) и (б) ФТДО/ДНП=75/25 с добавлением 3% TiO_2 ($+20\text{ }^{\circ}\text{C}$), полученных в излучении с длиной волны $\lambda=0.727\text{ \AA}$.

По точечным рефлексам на кольцах Дебая (Рис. 6.2.21(а)) также видно, что при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в образцах без примеси TiO_2 образуются достаточно крупные кристаллиты.

Данные о внутренней структуре образцов кристаллизованных смесей используются для контроля и совершенствования технологии приготовления образцов и для обнаружения зависимости результатов огневых испытаний от качества используемых образцов. Ранее были получены аналогичные данные для образцов молекулярного соединения и эвтектической смеси (ФТДО/ДНП = 49/51 и 65/35, соответственно). Планируется продолжить такие измерения для смесей с содержанием ФТДО до 90% с более детальным анализом структуры полученных образцов.

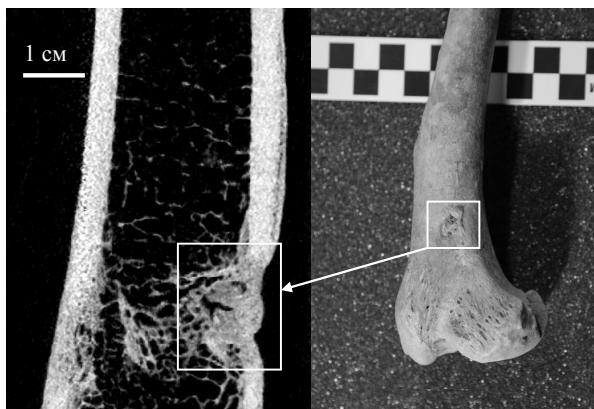


Рис. 6.2.22. Заросшее отверстие в кости волка, найденной на стоянке древних людей в устье реки Лены. Томографический срез (слева) и фотография исследуемой кости (справа).

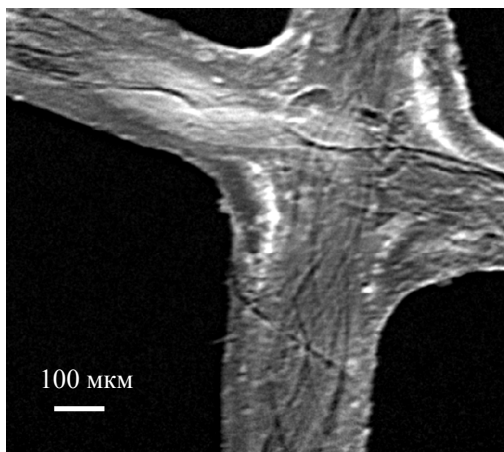


Рис. 6.2.23. Микроструктура фрагмента сетки, являющейся элементом одежды, найденной при раскопках курганов на севере Монголии.

Неразрушающий анализ, выполняемый на станции «Рентгеновская микроскопия и томография» очень важен при исследовании интересных археологических находок, требующих детального исследования внутренней структуры. Одними из примеров таких исследований, выполненных на нашей установке за последний год, показаны на Рис.6.2.22, Рис.6.2.23.

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 неорганической химии СО РАН, г. Новосибирск,

- Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск,
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск.

Темы работ 2012года:

1. *Определение структурных характеристик висмутового комплекса.*

Цитратные комплексы висмута используются в медицине в качестве основы противовоспалительных препаратов (например, Денола). Однако строение и структурные характеристики действующего соединения не определены, так как оно существует в растворе, а при попытке получить кристалл претерпевает ряд превращений и теряет активность.

В работе проведена оценка размеров комплекса по дифрактограммам в области малых углов.

Образцы снимались на просвет. Длина волны составляла 1,516 Å. Кювета была сделана из двух пластинок слюды, куда помещался раствор, затем пластинки сжимались до необходимой толщины – так, чтобы частично проходил прямой пучок. Дифрактограмма для чистого растворителя – график 1 (Рис. 6.2.24). Затем в кювету был помещен раствор Денола исходной концентрации (график 3), разбавленный в четыре раза – график 2.

Обработка широкого пика показала, что его положение (3,82 град) соответствует межчастичному расстоянию ~ 22 Å, а ширина пика (3,57 град) соответствует размеру частиц ~ 22 Å. Разбавление раствора привело к синхронному увеличению межчастичного расстояния и размеров до 26 Å. Это может свидетельствовать о внедрении некоторого количества молекул воды в структуру комплекса.

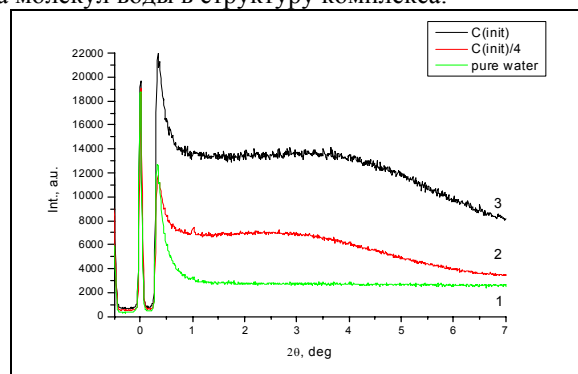


Рис. 6.2.24. Дифрактограммы чистого растворителя 1- раствора комплекса исходной концентрации; 3- разбавленного в 4 раза (2).

2. *Исследования структуры кальций-фосфатных пленок на поверхности медицинских имплантатов*

Имплантаты из титана и его сплавов широко используются в стоматологии и ортопедии. В последнее время активно внедряются имплантаты из алюмооксидной керамики. Проблемы, связанные с улучшением биосовместимости вводимых в организм материалов и фиксации протеза в костной ткани, ускорением процессов заживления, увеличением срока службы

имплантата успешно решаются путем нанесения на его поверхность биоактивных резорбируемых покрытий из гидроксиапатита (ГА),

Процессы роста и кристаллизации пленки ГА на пористой поверхности алюмооксидной керамики и оксидированного титана практически не изучены. Кроме того, при структурном отжиге важно обеспечить минимальные температуры, чтобы снизить термические напряжения и исключить разрушение пленки. Дополнительным аргументом снижения температуры и времени отжига является дегидроксилирование ГА при температуре выше 800 °С и разложение материала. Цель настоящей работы - методом *in situ* рентгеновской дифрактометрии синхротронного излучения исследовать структурные превращения в тонких кальций-фосфатных пленках на поверхности медицинских имплантатов из алюмооксидной керамики и оксидированного титана.

Для нанесения кальций-фосфатных пленок использован метод ВЧ магнетронного распыления. Образцы после напыления устанавливались в камеру термического отжига. Нагрев образцов происходил от комнатной температуры до 750 °С в течение 2,5 часов. Спектр дифракции снимался каждые 5 минут. Непосредственно после напыления пленки толщиной 1 мкм практически аморфны, степень кристаллизации не превышает 20-25%. Наблюдаются только характерные для ГА линии спектра соответствующие отражению от кристаллографических плоскостей $2\theta=25,8$ (002), 31,7 (211), 32,2 (112). Изменения в спектрах появляются при температурах ~ 400 °С, а активная кристаллизация покрытия начинается при 520...530 °С. При 700 °С структура покрытия сформирована и в дальнейшем не изменяется. Проявляются практически все пики, соответствующие структуре гидроксиапатита. Следует отметить, что при температуре около 400 °С на дифрактограмме появляется дифракционный пик ($2\theta=36.5^\circ$), который соответствует оксиду кальция (СаО). Присутствие оксида кальция, вероятно, связано с избытком кальция в пленках, по сравнению со стехиометрическим. Пиков других кальций фосфатных соединений, являющихся продуктами разложения ГА, не обнаружено.

Проведенные исследования позволили установить следующие общие закономерности формирования структуры пленки ГА на различных материалах для медицинских имплантатов:

- независимо от материала и морфологии поверхности подложки (пористая керамика, титан с пористым оксидным покрытием, чистый титан, полированный кремний) основным компонентом структуры (более 85%) кальций-фосфатного покрытия, полученного методом ВЧ магнетронного распыления, после отжига при температуре 700 °С является гексагональный синтетический гидроксиапатит, соответствующий JCPDS-09-432;

- динамика структурных преобразований в пленке в процессе отжига практически одинакова для всех исследованных подложек;

- минимальный размер зерна поликристаллов составляет 10-100 нм.

6.2.8. Станция – «EXAFS-спектроскопия».

Станция «EXAFS-спектроскопии» предназначена для получения спектров рентгеновского поглощения (EXAFS и XANES) различных, как правило, рентгеноаморфных образцов, в жидкофазном и твердом состояниях. Полученные данные позволяют определять электронное строение, а также структуру – параметры ближнего локального окружения (координационное число, межатомные расстояния) исследуемых ионов, в том числе и для образцов, для которых неприемлемы рентгенографические структурные методы. Преимущественно станция используется для исследования высокодисперсных объектов – наноматериалов и катализаторов. В зависимости от применяемой методики анализируются: объём, поверхность либо приповерхностные слои. Реализованы методики записи спектров: «на пропускание», рентгеновской флюоресценции, полного внешнего отражения. Разработаны уникальные методики подготовки образцов для съёмки реакционно-активных соединений и катализаторов в инертных условиях. Возможно исследование образцов при температурах от 77 до 900 К в условиях заданной атмосферы (*in situ*).

Участвующие организации:

- Институт катализа СО РАН (Новосибирск),
- Институт неорганической химии СО РАН (Новосибирск),
- Институт химической кинетики и горения СО РАН (Новосибирск)
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН (Новосибирск),
- Физико-технический институт Уро РАН
- Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН.

В 2012 году работы на станции проводились при финансовой поддержке следующих проектов:

- Грант РФФИ 12-02-00262-а. «Исследование микроструктуры и электронного строения калиброванных кластеров золота в кукурбит[*n*]урилах с использованием XAFS спектроскопии».
- Грант РФФИ 11-03-00219-а. «Соединения включения комплексов и кластеров никеля и меди в кавитанд кукурбит[8]урил: химический эксперимент, спектроскопический анализ и квантово-химическое моделирование».
- Грант РФФИ 12-03-00131 «Неравновесное фазообразование в трехкомпонентных оксидных пленках, получаемых легированием HfO_2 редкоземельными элементами».
- Проект РФФИ 11-03-12014-офи-м-2011 «Многофункциональные наноразмерные смешанные металлоксидные системы на основе слоистых силикатов как катализаторы

- процесса парового риформинга метана, устойчивые к серосодержащим соединениям»,
- Госконтракт №16.513.11.3043 «Формирование пространственно - упорядоченных/коррелированных массивов полупроводниковых наногетероструктур на основе германия и соединений его изоэлектронного ряда с контролируемой шириной запрещенной зоны для перспективных элементов нанoeлектроники и нанoфотоники»,
- Грант 12-03-00306-а «Установление строения активных центров катализаторов кислотно-основного катализа на основе слоистых ниобатов полученных методом эксфолиации»,
- 12-03-00173-а «Установление влияния структуры четвертичного катиона аммония на каталитическую активность пероксокомплексов вольфрама в реакциях окисления органических соединений»,
- Грант 12-03-90821-мол_рф_нр «Исследование состава и структуры нанесенных палладиевых катализаторов, полученных различными методами, для жидкофазного селективного гидрирования ацетилена в этилен после воздействия на них реакционной среды методами спектроскопии EXAFS и XANES»,
- Грант 12-03-01154 «Исследование локальной структуры активного компонента биметаллических гетерогенных нанесенных катализаторов, перспективных для задач альтернативной энергетики и экологического катализа»,
- 11-08-12104-офи «Метод внесения углеродных нанотрубок и нанонитей в алюмосиликатную матрицу с целью создания оксидных керамических фильтров».

Темы работ 2012года:

1. Системы получения водорода для портативных энергоустановок

Аморфные бориды металлов интенсивно исследуются на протяжении последних 20 лет из-за их уникальных электронных, магнитных и каталитических свойств. Особое внимание уделяется боридам кобальта как дешевым, но эффективным катализаторам селективного гидрирования, гидрообессеривания, восстановления, а также гидролиза боргидрида натрия (NaBH_4) с целью получения водорода для обеспечения работы портативных энергоустановок.

Система $\text{CoCl}_2 + \text{NaBH}_4$ является наиболее исследованной. Однако, несмотря на большое уделяемое ей внимание, природа получаемого бориды кобальта (Co_xB) ещё до конца не установлена в связи со сложностью его изучения. Свежеприготовленные бориды кобальта являются рентгеноаморфными. Дифракционная картина содержит малоинформативную широкую линию при $2\theta = 45 \pm 2^\circ$, которая может представлять собой суперпозицию пиков боридов кобальта различного состава (CoB , Co_2B , Co_3B), а также метал-

лического кобальта Co^0 . Получить структурные данные об аморфной фазе системы CoB_x можно только с использованием метода EXAFS.

Данные EXAFS показали, что активной фазой является аморфный борид неизвестной структуры. Его структура не совпадает ни с одним из известных стехиометрических боридов. При прокалке эта структура разрушается и образуется неактивный металлический кобальт.

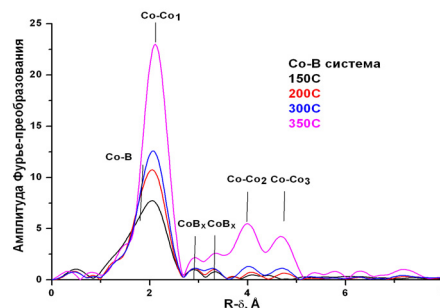


Рис. 6.2.25. Структура аморфного бориды и переход его в чистый металл при кристаллизации.

Эти результаты позволяют построить предварительную модель структуры получающегося аморфного бориды. Модель состоит в том что, при восстановлении образуются двумерные частицы металлического кобальта гексагональной структуры, что соответствует объемным кристаллическим структурам металлического кобальта. Эти наночастицы толщиной в один слой атомов кобальта сшиты между собой атомами бора. Уже при температуре 200 °C появляются дальние расстояния от фазы металлического гексагонального кобальта обозначенные на рисунках как Co-Co_2 и Co-Co_3 .

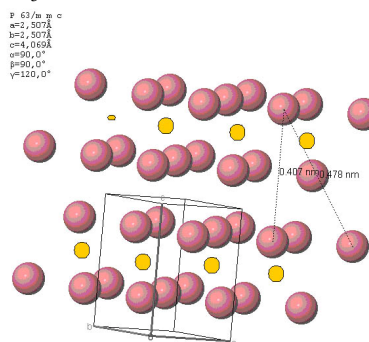


Рис.6.2.26. Модель структуры аморфных боридов

2. Получение этилена из ацетилена для попутных нефтяных газов

В настоящее время одной из актуальных проблем является переработка попутных нефтяных газов в более ценные продукты. Кроме традиционных подходов (через промежуточное получение синтез-газа), в последнее десятилетие развивается технология основанная на выделении ацетилена из попутных нефтяных газов с последующим жидкофазным каталитическим гидрированием ацетилена в этилен и олигомери-

зацией последнего с получением компонентов моторных топлив. Ключевой стадией процесса является селективное гидрирование ацетилена до этилена.

Нанесенные на Al_2O_3 активные компоненты Pd-Ga и Pd-In наиболее активны и селективны в реакции жидкофазного гидрирования ацетилена до этилена. Эти свойства связывают с образованием интерметаллических соединений палладия и галлия (Pd_3Ga_7 , PdGa). Повышение стабильности катализаторов и их селективности по этилену объясняют «изоляцией» центров адсорбции ацетилена, что приводит к изменению характера связывания ацетилена с активным центром.

Были изучены каталитические свойства палладий-галлиевых катализаторов в реакции жидкофазного селективного гидрирования ацетилена в этилен и исследованы состав и структура активных образований с помощью EXAFS-спектроскопии в катализаторе Pd/Ga₂O₃ в зависимости от условий приготовления.

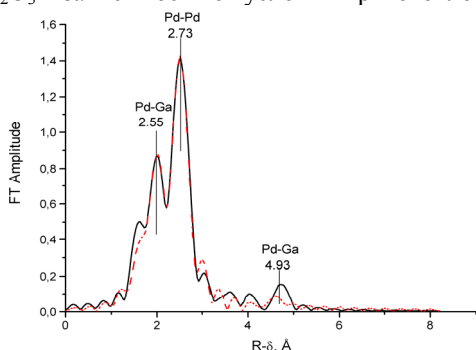


Рис. 6.2.27. Окружение палладия в Pd/Ga₂O₃ катализаторе восстановленном в водороде при 200 °С.

Так как в исследованных катализаторах не наблюдается расстояний Pd-Pd, больших 2,82 Å, характерных для стехиометрических интерметаллических соединений, можно сделать вывод, что в данном случае объемная фаза интерметаллида не образуется. Однако наличие короткого расстояния 2,55 Å, моделируемого расстоянием Pd-Ga, может говорить о присутствии неоднородного по составу сплава палладия с галлием.

Согласно полученным данным на первой стадии приготовления катализатора палладий взаимодействует с оксидом галлия, образуя смешанные оксиды.

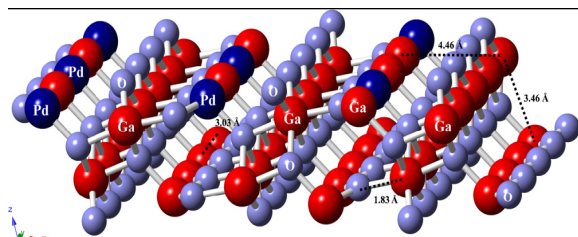


Рис.6.2.28. Модель интеркаляции палладия в оксид галлия при нанесении.

При восстановлении образующийся металлический палладий активирует водород, который восстанавливает не только интеркалированный Ga₂O₃ палладий но и галлий до металлического состояния. В данной сис-

теме сплав образуется за счет диффузии атомарного галлия с поверхности внутрь палладиевых частиц, металл (Pd) существует только в ядре частицы, сплав – на поверхности. Таким образом, насыщение поверхности металлической палладиевой частицы галлием приводит к образованию в подповерхностной области неоднородного микросплава при сохранении ядра из металлического палладия.

Одной из проблем современного материаловедения является разработка подходов к получению новых функциональных наноматериалов на основе изучения фундаментальных закономерностей – взаимосвязи химического и фазового состава, структуры, физических и электрофизических характеристик тонких пленок и многослойных структур. К такой проблеме относится получение пленок бинарных оксидов, формирующихся в системах на основе оксида гафния.

В настоящее время значительное внимание к пленкам оксида гафния и твердым растворам на их основе, в первую очередь, вызвано необходимостью получения материалов с высоким значением диэлектрической проницаемости («high-k»-диэлектрики) для технологий микро- и нано-электронных устройств. Пленки оксида гафния привлекают наибольшее внимание исследователей ввиду высоких значений диэлектрической проницаемости, ширины запрещенной зоны, а также термодинамической стабильностью в контакте с кремнием.

Однако это относится только к аморфным пленкам. Недостатком пленок HfO₂ является их склонность к кристаллизации, а кристаллическая фаза имеет высокую проводимость. Одним из путей аморфизации пленок или уменьшение размеров кристаллитов является их легирование редкоземельными элементами, алюминием, кремнием.

Для бинарных оксидов HfO₂-Al₂O₃ показано, что легирование HfO₂ алюминием приводит к аморфизации пленок при концентрации алюминия ~ 30 ат.%. Образуются аморфные пленки твердых растворов, а не механические смеси их оксидов.

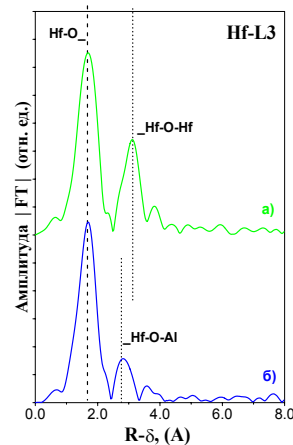


Рис. 6.2.29. Функции радиального распределения атомов локального окружения гафния для а) HfO₂ б) $(\text{HfO}_2)_x \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ на кремнии.

Эти результаты подтверждаются данными СТМ.

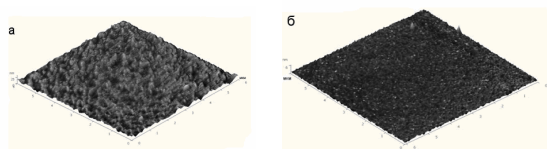


Рис.6.2.30. АСМ изображение морфологии поверхности пленок HfO_2 (a) и $(\text{Al}_2\text{O}_3)_x(\text{HfO}_2)_{1-x}$.

Происходит изменение морфологии поверхности пленок HfO_2 при легировании их алюминием (Рис.6.2.30). Шероховатость пленок составляет 2,4 нм для пленок HfO_2 и 0,65 нм для $(\text{HfO}_2)_{1-x}(\text{Al}_2\text{O}_3)_x$.

6.3. РАБОТЫ НА ПУЧКАХ СИ ИЗ ВЭПП-4М

6.3.1. Метрологическая станция «Космос».

В 2012 году на станции "Космос" проводились работы по развитию методики исследования деградации кремниевых фотодиодов под воздействием ВУФ и мягкого рентгеновского (МР) излучения. В первую очередь решалась задача получения пучков синхротронного излучения с заданным спектральным диапазоном и плотностью потока мощности (ППМ), достаточной для наблюдения деградации детекторов под ее воздействием за приемлемое время (от 1 до 10 часов). Характерные значения плотности потока энергии (ППЭ), необходимые для заметной деградации детектора, имеют значения (в зависимости от энергии фотонов) от 100 мДж/см² до 100 Дж/см². Как правило, ППМ после монохроматора в условиях станции "Космос" составляет доли нановатта на квадратный сантиметр, чего явно недостаточно для проведения работ. В связи с этим были разработаны оптические схемы для выделения из "белого" пучка СИ сравнительно широкой полосы спектра с высоким ППМ. В состав оптической схемы входит зеркало полного внешнего отражения (ПВО) и тонкопленочный рентгеновский фильтр. Зеркало ПВО подавляет фотоны с высокой энергией, в то время как фильтр ограничивает поток фотонов с низкой энергией. Положение границы отсечки спектра определяется материалом и толщиной фильтра, а также материалом напыления и углом между пучком СИ и зеркалом ПВО. Спектральные свойства оптических элементов и типичный спектр СИ после подобного рода фильтрующей системы приведены на Рис.6.3.1.

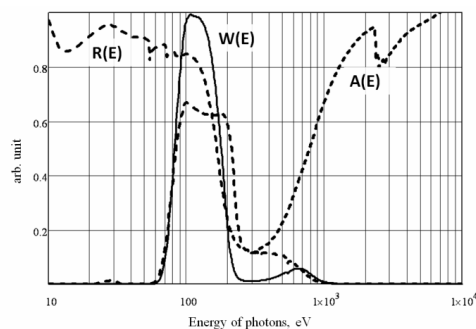


Рис.6.3.1. Спектральные свойства элементов оптической схемы для получения квазимонохроматического излучения в области 78-138 эВ. А(Е) - коэффициент поглощения фильтра Nb/Zr (толщина фильтра 0,2 мкм). R(Е) - коэффициент отражения от пары золотых зеркал ПВО (угол между пучком и поверхностью зеркала $\theta=14^\circ$), W(Е) - результирующий спектр СИ после оптической системы.

Был разработан ряд подобных оптических схем, позволяющий заполнить спектральный участок 50 эВ - 3 кэВ.

Для увеличения мощности излучения были опробованы оптические схемы, использующие только одно зеркало ПВО. С методической точки зрения основным недостатком таких схем является повышение сложности настройки и необходимость организации внутри вакуумного объема кинематических схем "тета-2тета". Так же при работе на пучке был опробован ряд схем, включающий в себя фокусирующее сферическое ($R=10$ м) зеркало с золотым покрытием. Фокусировка позволила увеличить плотность мощности примерно на порядок. Наиболее светосильная схема такого типа (рабочая область - 0,7 - 1,7 кэВ) позволила получить ППМ на уровне 40 мВт/см² при токе накопителя 20 мА. Проведено облучение детекторов типа ФДУК-100УВ (разработка ФТИ, Санкт-Петербург) и AXUV-100G (производство IRD Inc, США). Облучение велось в трех спектральных областях: 19,5-45 эВ, 78-138 эВ, 700-1700 эВ; набранные дозы составили 30, 300 и 8000 мДж/см² соответственно.

Методика исследования радиационной стойкости детекторов заключалась в локальном облучении части поверхности детектора квазимонохроматическим пучком СИ с последующим сравнением чувствительности облученной и необлученной частей. Измерения проводились с использованием монохроматического пучка размером 0,5 мм путем сканирования детектором относительно этого пучка.

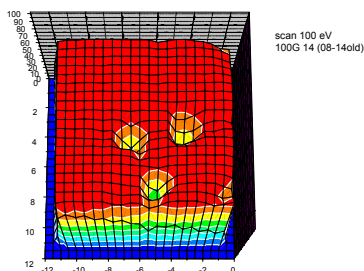


Рис. 6.3.2. Карта отклика детектора типа AXUV-100G, трижды подвергнутого облучению фотонами с энергией 10 эВ и ППЭ 2,7 мДж/см². Наблюдаются места локальной 10% деградации чувствительности детектора. Измерения проводились на энергии 100 эВ.

Также было проведено сравнение спектрального отклика детектора в облученной и необлученной частях. Измерения проводились в спектральном диапазоне 90-120 эВ (окрестность L-III края поглощения кремния) с использованием штатного двухзеркального монохроматора станции "Космос". Отношение спектральных откликов (Рис.6.3.3) позволяет констатировать появление дополнительно 12 нм мертвого слоя кремния в месте облучения детектора.

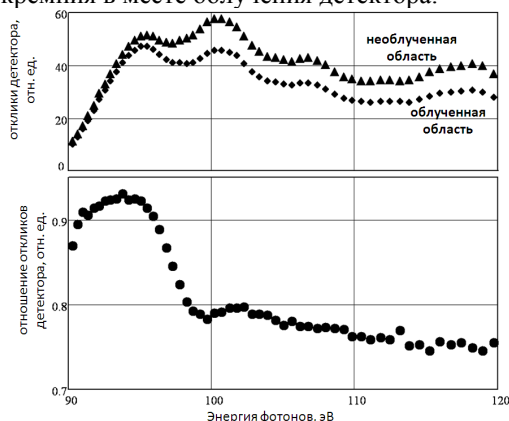


Рис.6.3.3. Верхний график - спектральный отклик детектора на монохроматическое излучение в необлученной (треугольники) и в облученной (ромбы) областях. Нижний график - отношение верхних двух графиков. Скачок чувствительности вблизи L-III края кремния позволяет оценить толщину дополнительного мертвого слоя кремния на поверхности детектора (около 12 нм).

6.3.2. Вывод излучения из 7-ми полюсной змейки в бункер СИ ВЭПП-4.

Станция «Детонация» на восьмом канале СИ накопительного кольца ВЭПП-4, где используется излучение семиполюсного виглера (пять основных полюсов) с полем 1,4 Т и два боковых, с половинным полем), нацелена на изучение быстропротекающих процессов, проходящих в детонационной волне, на фронте удар-

ной волны и химических реакций в экстремальных условиях. Новая станция имеет значительно более высокие, по сравнению со станцией на ВЭПП-3, значения основных параметров эксперимента, таких как интенсивность и жесткость спектра СИ, объем взрывной камеры и допустимый вес взрывааемых образцов. Это позволяет значительно понизить влияние мешающих факторов, характерных для взрывчатых образцов небольшого размера и связанных с влиянием близкой поверхности, кривизной фронта, и так далее.

Основным детектором на новой станции будет однокординатный детектор DIMEX-3, использование которого на станции «Взрыв» накопителя ВЭПП-3 показало большие возможности методов, связанных с применением синхротронного излучения для изучения быстропротекающих процессов.

На рисунке 6.3.4 показано распределение поля вдоль виглера (при стендовых испытаниях с максимально достижимым током 1,8 кА; рабочий ток будет увеличен вплоть до 2 кА).

Спектр излучения из виглера для поля 1,3 Т и условия, что энергия электронов равна 4 ГэВ, а ток в накопителе 20 мА, представлен на Рис.6.3.5 для горизонтального угла (веера) 1 мрад (интеграл по вертикальному углу). Также показан спектр после бериллиевых фольг (общей толщиной 12 мм), и после зеркала (с никелевым покрытием, расположенным под углом 2 мрад к пучку СИ).

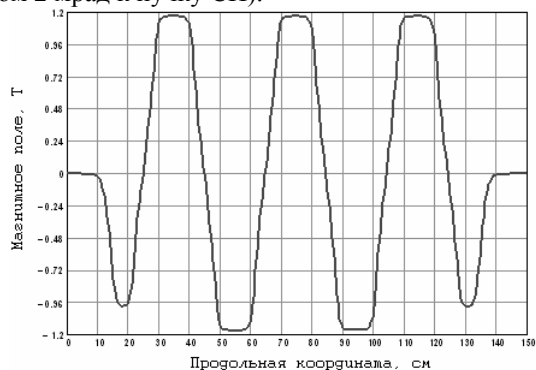


Рис. 6.3.4. Распределение магнитного поля по центру виглера при токе в основных обмотках $I_{обм} = 1,8$ кА.

Быстрый прерыватель пучка, чоппер с двумя рабочими кромками, на базе интегрированного сервопривода СПШ10 («Сервотехника»), а также коллиматор Кратки, расположены в откачиваемом объеме, «кубике №1».

Перед кубиком на канале располагается ионизационный датчик, предназначенный для точного контроля вертикального положения пучка и его интенсивности.

Прерыватель пучка открывает пучок на время порядка 60 мкс, достаточное для проведения взрывного эксперимента, но за это время в детекторе DIMEX не успевает образоваться облако медленных ионов, искажающее полезный сигнал. Средняя по времени интенсивность пучка после чоппера ослабляется более чем в сто раз, и это снижает тепловые нагрузки на

следующий важный элемент канала – зеркало скользящего отражения (никелевое покрытие, угол порядка 2 мрад к пучку). Зеркало позволяет убрать жесткую компоненту пучка (Рис. 6.3.5).

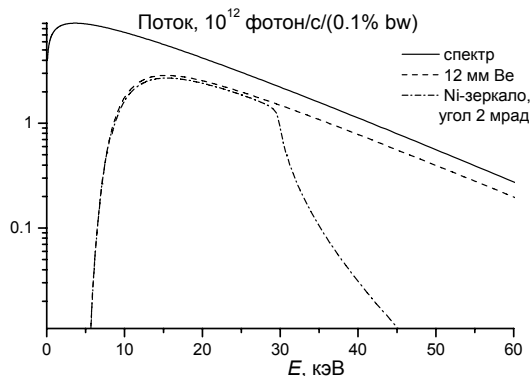


Рис. 6.3.5. Спектр СИ (ток 20 мА, энергия электронов 4 ГэВ; поле основных полюсов вилгера 1,3Т; критическая энергия 13,8 кэВ) из источника, после Ве-фольги, и после зеркала с никелевым покрытием (угол 2 мрад).

Вслед за зеркалом следует наиболее объемный элемент установки – взрывная камера с необходимыми глушителями и вводами, подключенная к системе продувки и отвода газообразных продуктов реакции.

И завершающим элементом канала является блок регистрации – радиационно-защищенный объем, «кубик №2», где располагаются: (а) автоматизированная система смены фильтров (до семи фильтров, плюс «чистый» пучок), которые используются для целей калибровки и т.д.; (б) нож, позволяющий перекрывать прямой пучок (для МУРР экспериментов; одна автоматизированная степень свободы); (в) детектор DIMEX и система его крепления (допускающая как горизонтальное, так и вертикальное положение детектора) и точного позиционирования (три автоматизированных степени свободы). По сравнению с блоком регистрации на ВЭПП-3 добавлена дополнительная автоматизированная степень подстройки, связанная с поворотом относительно вертикальной оси (угол рисования), и автоматизирована смена фильтров.



Рис. 6.3.6. Общий вид канала синхротронного излучения № 8 из 7-ми полюсной змейки ВЭПП-4.



Рис. 6.3.7. Синхротронное излучение канала № 8 из 7-ми полюсной змейки в бункере СИ ВЭПП-4.

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 2012 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).

Одной из двух основных задач 2012 года была организация регулярных работ на шести рабочих станциях пользователей. Второй задачей была подготовка к запуску третьей очереди Новосибирского ЛСЭ.

6.4.2. Эксперименты на пучках ТГц излучения.

В Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения работы с терагерцовым излучением выполняют 22 группы из 13 научных организаций Новосибирска, Москвы и Южной Кореи.

Работы, выполненные с использованием терагерцового излучения Новосибирского лазера на свободных электронах, во многом определяют современный мировой уровень в этой области. Следует отметить:

- пионерские работы по неdestructивной мягкой абляции ТГц излучением биологических объектов, полимеров, минеральных кластеров, а также разработку экспресс-метода исследования фракционного состава образующихся аэрозольных частиц (Институт химической кинетики и горения, Институт цитологии и генетики и Институт ядерной физики СО РАН);
- сверхбыструю прецизионную терагерцовую спектроскопию химических объектов (time domain spectroscopy) (Институт ядерной физики и Институт химической кинетики и горения СО РАН);
- исследование влияния ТГц излучения на биологические объекты (ДНК, белки, клетки, микроорганизмы) (Институт цитологии и генетики и Институт ядерной физики СО РАН);

- исследования взаимодействия ТГц излучения с новыми резонансными метаматериалами (Новосибирский государственный университет и Институт ядерной физики СО РАН);
- производство углеродных нанотрубок и наногорнов с помощью сфокусированного пучка ТГц излучения (Институт ядерной физики и Институт неорганической химии СО РАН);
- исследование взаимодействия ТГц излучения с материалами на основе углеродных нанотрубок (Институт физики полупроводников, Институт неорганической химии и Институт ядерной физики СО РАН);
- плазмонную спектроскопию поверхностей и пленок с помощью ТГц излучения (Московский государственный университет, Новосибирский государственный университет и Институт ядерной физики СО РАН)
- развитие томографии, голографии и метрологии с использованием источника когерентного монохроматического ТГц излучения (Новосибирский государственный технический университет, Новосибирский государственный университет и Институт ядерной физики СО РАН);
- развитие методов диагностики плазмён (Институт химической кинетики и горения и Институт ядерной физики СО РАН);
- эллипсометрические измерения в ТГц области спектра (Институт физики полупроводников СО РАН);
- исследование горения H_2-O_2 с использованием настройки ТГц излучения на линию поглощения H_2O (Институт гидродинамики, Институт химической кинетики и горения и Институт ядерной физики СО РАН);
- исследование детонационных и взрывных процессов в газовых смесях с помощью ТГц излучения (Институт гидродинамики, Институт химической кинетики и горения и Институт ядерной физики СО РАН);
- спекл-фотографию и спекл-интерферометрию в ТГц излучении (Новосибирский государственный университет и Институт ядерной физики СО РАН);
- Тальбот-метрологию в ТГц диапазоне (Новосибирский государственный университет и Институт ядерной физики СО РАН).

Ниже перечислены некоторые работы, выполненные в 2012 году, и их исполнители.

1. Изучено влияние терагерцового излучения на спиновые состояния фотопереключаемого полимерного комплекса. Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера и Международный томографический центр СО РАН.
2. Разработана уникальная методика ультрабыстрых спектральных измерений высокого разрешения в терагерцовом диапазоне. Впервые проведены прямые измерения временной зависимости узкополосного терагерцового излучения молекул, возбуждённых мощным и относительно коротким импульсом излучения ЛСЭ. Институт ядерной

физики им. Г. И. Будкера и Институт химической кинетики и горения СО РАН.

3. Продемонстрировано детектирование наличия тонких плёнок на поверхности металла методом плазмон-поляритонной спектроскопии. Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН и Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН (Москва).
4. Разработана методика исследования конденсированных сред при помощи терагерцового спектрометра нарушенного полного внутреннего отражения. Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН и Новосибирский государственный университет.
5. Исследованы свойства перспективных полупроводников для создания матриц детекторов терагерцового диапазона. Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера и Институт физики полупроводников СО РАН.

6.4.3. Модернизация ЛСЭ и запуск третьей очереди ускорителя-рекуператора.

В 2012 году были спроектированы и изготовлены узлы для модернизации высокочастотного генератора. Кабели, используемые для измерения фаз напряжений на ускоряющих высокочастотных резонаторах, заменены на кабели с воздушной изоляцией, что повысило абсолютную точность измерения фаз. Проведены испытания модернизированного выходного каскада высокочастотного генератора. Параметры выходных цепей подстроены для подавления самовозбуждения. Спроектирован дополнительный высоковольтный выпрямитель для повышения анодного напряжения.

Магнитовакуумная система третьей очереди ЛСЭ расположена на третьей и четвертой дорожках ускорителя-рекуператора (Рис. 6.4.1). 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.

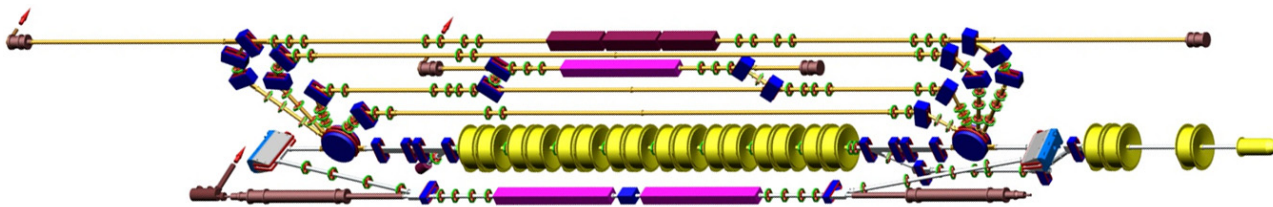


Рис. 6.4.1. Общий вид ускорителя-рекуператора с лазерами на свободных электронах, установленными на первой второй и четвёртой дорожках. В 2012 году получен циркулирующий электронный пучок на третьей и четвёртой дорожках.

В 2012 году был впервые продемонстрирован режим четырёхкратного ускорения и четырёхкратного замедления электронов в четырёхдорожечном ускорителе-рекуператоре третьей очереди ЛСЭ. При этом на пикап-электродах общей дорожки наблюдается восемь различных пучков, проходящих в различные моменты времени (Рис. 6.4.2). Как видно из этой осциллограммы, токи пучков примерно одинаковы, что говорит о практически полном прохождении электронов через весь ускоритель-рекуператор. Более точные измерения тока в поглотителе показывают, что туда проходит более 95% электронов.

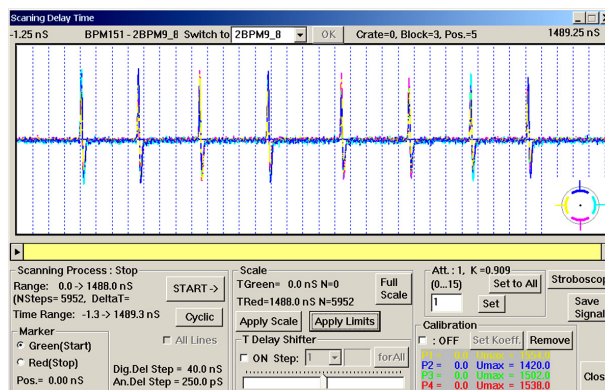


Рис. 6.4.2. Сигнал с одного из пикап-электродов общей дорожки.

Таким образом, построен и запущен первый в мире четырёхдорожечный ускоритель-рекуператор.

Данная установка доказывает работоспособность нового класса ускорителей - многорожечных ускорителей-рекуператоров. Такие ускорители могут использоваться для генерации субпикосекундных импульсов рентгеновского излучения высокой яркости с частотой повторения десятки мегагерц. Сверхкороткие рентгеновские импульсы используются для изучения быстропротекающих процессов, например, химических реакций, и быстрых фазовых переходов. Другое перспективное применение этого класса ускорителей - ядернофизические эксперименты с внутренней мишенью.

Поперечные координаты пучков на всех пикап-станциях показаны на Рис. 6.4.3.

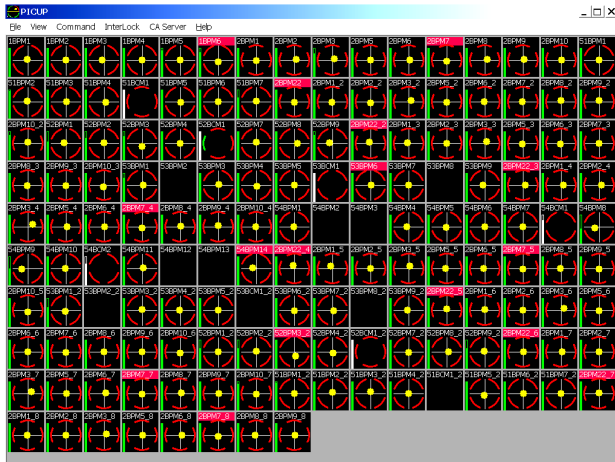


Рис. 6.4.3. Поперечные координаты пучков на всех пикап-станциях.

6.4.4. Сборка ондуляторов для третьей очереди ЛСЭ и коррекция поля в них.

ЛСЭ третьей очереди представляет собой оптический клистрон, в группирователе которого помещен радиатор. В нём используется три одинаковых ондулятора на постоянных магнитах.

Магнитные блоки крепятся на верхнем и нижнем основаниях («челюстях») ондулятора (Рис. 6.4.4). Основания, в свою очередь, держатся на приводных винтах, закрепленных на раме. Вращение винтов позволяет регулировать величину рабочего зазора ондулятора и, следовательно, амплитуду его поля.



Рис. 6.4.4. Один из трех ондуляторов третьей очереди в процессе сборки.

При помощи датчиков Холла, перемещающихся вдоль оси ондулятора, были измерены величины магнитного поля. Конструкция ондулятора позволяет заменить каждый из магнитных блоков для коррекции

магнитного поля. Для проверки того, что уровень ошибок поля достаточно низок, были рассчитаны траектория движения и спектр спонтанного излучения вперёд (Рис. 6.4.5) в измеренном поле.

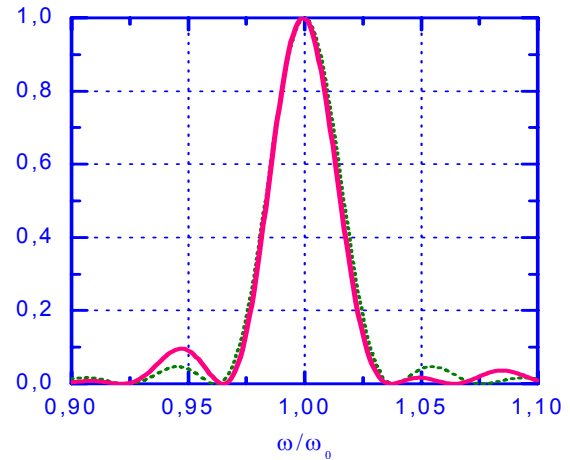


Рис. 6.4.5. Спектр спонтанного излучения вперёд в измеренном поле. Пунктиром показан идеальный спектр.

Отклонение траектории от прямой значительно меньше поперечного размера собственной моды оптического резонатора (среднеквадратичный размер по интенсивности - около 2 мм). Уширение спектра и соответствующее снижение амплитуды спонтанного излучения тоже невелики. Поэтому качество поля в ондуляторе было признано приемлемым.

Кроме того, были изготовлены некоторые элементы оптического резонатора ЛСЭ третьей очереди и разработан проект канала вывода излучения из ЛСЭ третьей очереди.

6.4.5. Результаты 2012 года и планы на 2013 год.

Основные результаты работ в 2012 году:

1. Запущен первый в мире ускоритель-рекуператор с четырьмя дорожками.
2. Продолжены эксперименты с использованием ТГц излучения на пользовательских станциях.
3. Продолжено проектирование и изготовление узлов испытательного стенда ВЧ инжектора.

Планы на 2013 год:

1. Смонтировать оптический резонатор, установить ондуляторы и запустить третью очередь ЛСЭ.
2. Продолжить работу над созданием новых станций.
3. Продолжить эксперименты с использованием ТГц излучения на пользовательских станциях третьей очереди.

6.5. РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СИ

6.5.1 Сверхпроводящие вигглеры

В 2012 году были продолжены контрактные работы по разработке и изготовлению различных сверхпроводящих криогенно-магнитных систем для генерации СИ.

В августе 2012 был осуществлен пробный запуск на стороне заказчика 63-полюсного вигглера (Рис.6.5.1) с периодом 51 мм, магнитным полем 4,0 Т и межполюсным зазором 15,2 мм для накопителя Australian Synchrotron (Мельбурн). При этом было продемонстрировано отсутствие расхода жидкого гелия и отрицательное давление в гелиевом сосуде с понижением температуры гелия до 3,5 К. Это позволило получить повышенную от запланированной величину магнитного поля до 4,2 Т. В настоящее время ведется подготовка к установке этого вигглера непосредственно на накопительном кольце Australian Synchrotron. Окончательный запуск запланирован на январь 2013.



Рис. 6.5.1. 63-полюсный 4 Т вигглер для накопителя Australian Synchrotron (Мельбурн)

В октябре 2012 был собран в собственном криостате 15-полюсной вигглер с полем 7,5 Т (Рис.6.5.2 и 6.5.3) с магнитным зазором 26 мм и периодом 200 мм для накопителя CAMD-LSU (США). После тренировки сверхпроводящей магнитной системы был достигнут необходимый уровень магнитного поля. В настоящее время заканчивается сборка вигглера в собственном криостате. В январе 2013 запланировано проведение полного цикла испытаний и отправка вигглера заказчику. Запуск непосредственно на кольце CAMD-LSU будет произведен в марте 2013.

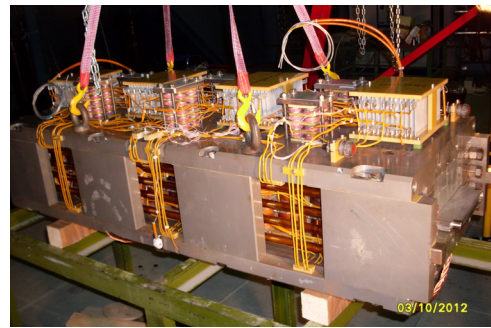


Рис. 6.5.2. Сверхпроводящая магнитная система 15-полюсной вигглера с полем 7,5 Т для накопителя CAMD-LSU (США).

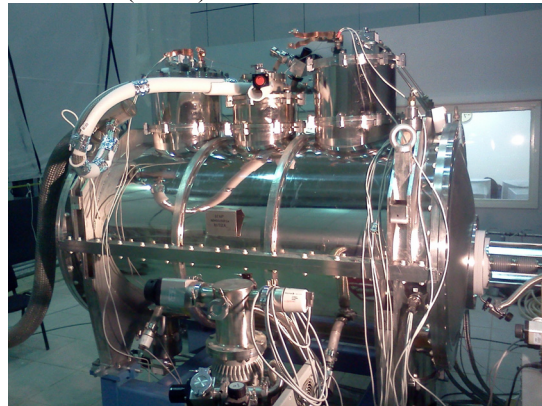


Рис. 6.5.3. 15-полюсной вигглер с полем 7,5 Т и периодом 200 мм для накопителя CAMD-LSU (США).

В ноябре 2012 был успешно испытан «короткий» прототип магнитной системы многополюсного вигглера САТАСТ (Рис.6.5.4) для накопителя АНКА (Карлсруэ, Германия). В настоящее время ведется изготовление полноразмерного 44-полюсного вигглера с периодом 48 мм, магнитным полем 2,5 Т и межполюсным зазором 20 мм.

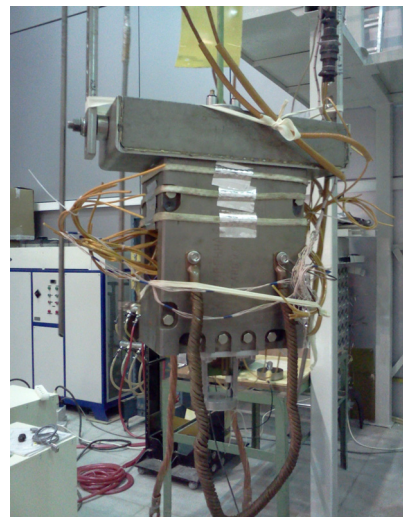


Рис. 6.5.4. Прототип магнитной системы многополюсного 2,5 Т вигглера САТАСТ для накопителя АНКА (Карлсруэ, Германия).

Конструкция еще одного вигглера (CLIC) с полем 3 Т, периодом 51 мм и магнитным зазором 18 мм, изготавливаемого для накопителя ANKA (Карлсруэ, Германия), радикально отличается от всех предыдущих вигглеров. В данном вигглере охлаждение до низких температур производится не жидким гелием, а посредством холодильных машин через механические тепловые контакты (Рис.6.5.5). Сама магнитная система, соответственно, находится в вакууме. В декабре 2012 был испытан короткий прототип такого магнита, который был охлажден до температуры 3 К и достигнутый уровень магнитного поля составил 3,3 Т. В данный момент продолжается тестирование этого магнита в различных режимах работы. Запуск полноразмерного магнита на контактном охлаждении запланирован на начало 2014 года.

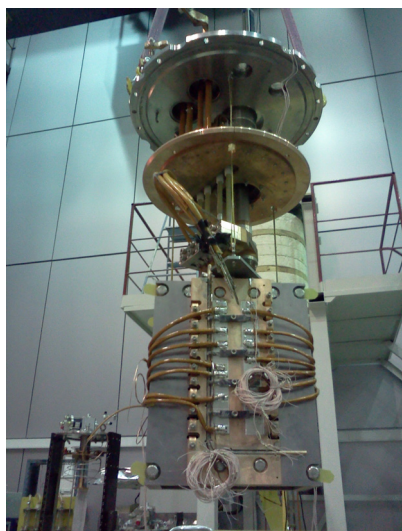


Рис. 6.5.5. Прототип безгелиевого сверхпроводящий вигглера CLIC с полем 3 Т для накопителя ANKA (Карлсруэ, Германия).

Начатая в 2011 году модернизация уже работающих вигглеров получила свое продолжение и в 2012. Так были заключены контракты на изготовление новых криогенных систем с нулевым расходом жидкого гелия для вигглеров ELETTRA (Триест, Италия) и НМІ (Берлин). Оба контракта должны быть завершены летом 2013.

7

РАДИОФИЗИКА

И

ЭЛЕКТРОНИКА

Введение

Работы ИЯФ в области радиофизики и электроники сосредоточены, в основном, в Радиофизических лабораториях. Основная тематика лабораторий связана с разработкой и исследованиями радиофизических систем для ускорителей и накопителей заряженных частиц, установок для изучения физики высокотемпературной плазмы, других систем.

В рамках этих работ разрабатывается разнообразное радиоэлектронное оборудование: системы питания, управления, диагностики, системы компьютерного управления; высокочастотные ускоряющие системы и источники ВЧ и СВЧ энергии, исследование поведения пучков заряженных частиц во взаимодействии с ускоряющими системами и с другими элементами и устройствами ускорителей и накопителей заряженных частиц. Основные результаты работы лабораторий являются частью общих результатов исследований и работ, проводимых на действующих комплексах: ВЭПП-4, ВЭПП-2000, ЛСЭ, Инжекционном комплексе, установках для изучения физики ВТП.

Вследствие универсального характера некоторых разработок лабораторий, 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 2012-й год для сотрудников радиофизических лабораторий был особенно напряженным в связи с выполнением большого объема работ по контрактам с исследовательским Центром в Юлихе (Германия), Брукхэйвенской национальной Лабораторией (США), KAERI (Корея), TAE (США) и другими партнерами.

Ниже кратко приведены некоторые результаты работ, проводившихся в 2012 году, и ориентиры по работам, которые будут продолжены в 2013 году и в дальнейшем.

7.1. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

7.1.1. Источники стабилизированного тока

Разработка источников стабилизированного тока для питания различных электрофизических установок и отдельных их узлов является одной из главных задач Радиофизической лаборатории. Устройства этого класса включают, прежде всего, источники постоянного тока для питания электромагнитов накопителей заряженных частиц. Выходной ток таких источников, в зависимости от задачи, имеет значение от единиц ампер до десятков килоампер. Соответственно, вы-

ходная мощность - от десятков ватт до сотен киловатт и единиц мегаватт. Источники тока, как правило, имеют широкий диапазон регулирования величины тока (до 60 дБ) и высокую точность регулирования и стабилизации (погрешность 0,01% и меньше). Источники тока являются сами по себе сложными электрофизическими устройствами с компьютерным управлением, контролем, тестированием, со сложной системой блокировок и устройств внутреннего контроля. Аналогов российская промышленность не выпускает.

Продолжены работы по модернизации источников питания и измерительной аппаратуры физических комплексов Института.

- В 2012 году была продолжена многолетняя работа по модернизации электроники прецизионных источников серии «ИСТ», предназначенных для питания электромагнитов. Это устройства мощностью 50кВт, 100кВт и 200кВт с тиристорным регулятором и с каналом подавления пульсаций. Источники управляются встроенными контроллерами (SEAC121), содержащими одноканальный 20-разрядный ЦАП и 8-ми канальный 24-разрядный АЦП. Для измерения тока применены бесконтактные магнитомодуляционные датчики тока (DCCT).
- Источника тока типа «ИСТ» новой модификации с выходным током до 400 А и мощностью до 200 кВт позволили провести испытания установки электронного охлаждения, разработанной и изготовленной в ИЯФ СО РАН для установки электронного охлаждения в Исследовательском центре Юлиха, Германия. Тиристорные выпрямители этих источников тока изготовлены на Заводе Низковольтной Аппаратуры (НВА, Рассказово, Тамбовская обл.) и укомплектованы разработанной и изготовленной в ИЯФ СО РАН электроникой управления и стабилизации тока.
- В 2012 году закончено изготовление и успешно произведен запуск ряда оригинальных источников питания электромагнитов бустерного ускорителя источника синхротронного излучения NSLS-II (BNL, США). Бустер способен работать с частотой повторения до двух герц, поэтому требования к источникам тока достаточно жесткие. При высоких требованиях к точности стабилизации тока источники должны обладать хорошими 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 1 приведены основные параметры изготовленных источников питания бустера NSLS-II.

Таблица 7.1.1. Основные параметры изготовленных источников питания бустера NSLS-II.

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

- В 2012 году продолжалась разработка и изготовление прецизионных источников тока с выходной мощностью до 10 кВт и током до 1000 А, выполненных с использованием преобразователей повышенной (порядка 20 кГц) частоты. В рамках этой тематики разработаны и изготовлены новые прецизионные четырех - квадрантные источники тока типа «ВЧ-500» (500А/12В), поставленные по контрактам в BNL, США (2 шт.) и KAERI, Корея (4 шт.).
- Закончена разработка и проведены полномасштабные испытания мощного (выходной ток до 800 А, максимальное напряжение до 400 В) прецизионного импульсного источника тока произвольной формы. Такие источники необходимы для питания магнитной системы 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 2012 году изготовлено и сдано в эксплуатацию более 50 источников тока типа «MPS-6» (выходной ток до 6 А), 10 источников тока типа «MPS-20» (выходной ток до 20 А) и 10 двухканальных блоков типа «SR-20-30» – стабилизаторов тока по принципу «подшунтирования» обмоток магнита.
- Изготовлено и введено в эксплуатацию более 30 каналов источников для корректирующих магнитов с выходными токами до 3 А. Источники поставлены в KAERI, Корея, а также используются в ИЯФ СОРАН.
- В соответствии с заключенным контрактом начата разработка и изготовление системы питания корректирующих магнитов для X-Ray Free Electron Laser Facility (Германия). Система включает в себя около 400 прецизионных источников тока.

7.2. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОСТОЯННОГО СТАБИЛИЗИРОВАННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В Институте 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 важных направлений деятельности лаборатории.

- В 2012 году продолжена разработка и изготовление отдельных узлов источника высоковольтного питания мощного инжектора отрицательных ионов, разрабатываемого по контракту с фирмой «ТАЕ», США. Параметры источника высоковольтного питания: $U(\text{вых})= 880 \text{ кВ}$, $I(\text{вых})= 10 \text{ А}$, $T(\text{имп}) = 100 \text{ сек}$. Источник высоковольтного питания состоит из восьми последовательно включенных высоковольтных выпрямителей с выходным напряжением 110 кВ, размещённых в одном объёме, заполненном изолирующим газом. Источниками регулируемого переменного напряжения для этих выпрямителей являются разрабатываемые мощные инверторы напряжения (частота 2 кГц, выходная мощность до 300 кВт).
- Для стенда источника отрицательных ионов, разрабатываемого в рамках контракта с фирмой «ТАЕ», США, изготавливается источник высоковольтного напряжения 120 кВ, 100 мА. Источ-

ник высоковольтного напряжения состоит из каскадного генератора – «умножителя напряжения», и регулируемого инвертора напряжения повышенной (20 кГц) частоты.

7.2.2. Источники высоковольтного питания ускорительных трубок.

В течение 2012 года продолжалась разработка, совершенствование и изготовление элементов и узлов источников высоковольтного питания электронных ускорительных трубок:

- С использованием элементов каскадного генератора – двухтактного умножителя напряжения изготавливаются источники высоковольтного питания для установки «ЛСЭ» («Лазер на Свободных Электронах») и установки «ЭЛС» («Электронно-Лучевая Сварка»), рассчитанные на работу с током пучка до 100 мА. Выходное напряжение источника высоковольтного питания «ЛСЭ» - 300 кВ, а «ЭЛС» - 60 кВ.
- Разработан и изготовлен высоковольтный выпрямитель с выходным напряжением до 60 кВ и полупроводниковый преобразователь повышенной частоты (20 кГц) для установки «ЭЛС» с увеличенной мощностью до 60 кВт.
- Для питания ускорительной трубки с напряжением до 2 МВ для установки электронного охлаждения ускорителя «COSY», Германия, разработан мощный (40 кВт) резонансный инвертор с повышенной частотой преобразования (25 кГц).

В 2012 году завершено изготовление и проведены сдаточные испытания установки электронного охлаждения, разработанной для исследовательского Центра в Юлихе, Германия. Одним из сложнейших элементов установки является источник высокого напряжения - «Высоковольтная колонна», создающий регулируемое стабилизированное напряжение до 2 МВ с уровнем стабильности порядка 10 ppm. «Высоковольтная колонна» состоит из каскадно включенных высоковольтных трансформаторов, работающих на частоте 20 кГц. Дополнительные обмотки трансформаторов используются для создания регулируемого тока соленоидов, распределенных вдоль колонны. «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...5кВ) 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 2012 году продолжилось изготовление большого количества генераторов импульсного тока. Для кана-

лов транспортировки пучков «К-500» изготовлено 75 источников импульсного питания типа «ГИД-25». В одной стойке размещается 8 генераторов типа «ГИД-25», блоки автоматизированного управления и контроля. Источники подготовлены для испытаний на реальную нагрузку.

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, широко используется не только в СО РАН, но и во многих научных организациях России и за рубежом. Основные результаты 2012 года:

- Изготовлена и запущена новая электроника на накопителе ВЭПП-2000 для 4-х установленных на кольце пикапов. Электроника обладает высоким временным разрешением, позволяющим отдельно измерять положение пучков электронов и позитронов, пролетающих через пикапы с интервалом ~20 нс. Суммарная погрешность измерений координаты – не более 10-20 микрон. Электроника позволяет выполнять поворотные измерения положения пучка. Пикап-станция представляет собой модуль 1U евромеханики глубиной 200 мм. На основе этой разработки в 2013 году планируется изготовить и установить на ВЭПП-4 дополнительно 15 пикап-станций для 15 пикапов (в дополнение к уже установленным 3-м пикап-станциям).

- Разработана, изготовлена и испытана на ВЭПП-3 новая версия прецизионной электроники для пикапов. Параметры новой электроники сравнимы с аналогичными параметрами предпоследней версии фирмы Libera Brilliance (Instrumentation Technologies, Словения). Погрешность измерений положения пучка не превышает нескольких микрон. Данная электроника не позволяет измерять положение отдельных сгустков, но способна выполнять пооборотные измерения для суммы всех сгустков. Пикап-станция представляет собой модуль 1U евромеханики глубиной 330 мм. Опытный образец проработал на ВЭПП-3 в течение более полугода. На основе этой разработки в 2013 году планируется изготовить и установить на ВЭПП-3 дополнительно 5 пикап-станций.
- Разработана новая электроника пикапов для линейных ускорителей инжекционного комплекса. Изготовлен и испытан на электронном линаке прототип электроники, который позволяет измерять положение пучка после каждого выстрела. Погрешность измерений положения пучка не превышает 5-10 микрон для электронов и 25-30 микрон для позитронов. Изготовлены 13 пикап-станций. Запуск новой электроники предполагается осуществить в первой половине 2013 года.
- Испытана на кулере для COSY (Германия) новая система измерения положения пучка для 12 пикапов. Данная система включает в себя подсистему модуляции тока электронного пучка и подсистему обработки сигналов с пикапов. Система позволяет одновременно измерять положение электронного и протонного пучков с разрешением в несколько микрон при амплитуде модуляции тока электронов 0,2-2 мА.
- В рамках контракта с ОИЯИ разработана электроника системы измерения фазы ионного пучка для бустера NICA. Эта система является дополнением к ВЧ системе бустера, разрабатываемой в ИЯФ. Система позволяет каждые 10 мкс измерять фазу пучка по отношению к ускоряющему напряжению ВЧ системы с погрешностью не более 1 градуса. Изготовлен прототип и рабочий вариант электроники. Прототип был испытан и показал требуемые параметры. Отправка рабочего варианта в Дубну и испытание его на работающем в ОИЯИ нуклотроне планируется в марте 2013 года.
- Разработана, изготовлена и запущена (без пучка) в BNL новая система измерения бетатронных частот. Особенностью данной системы является быстродействие – 1 мс. Это позволит за время подъема энергии в бустере выполнить до 300 измерений. Погрешность измерений бетатронных частот не превышает 50-100 ppm. Система позволяет измерять бетатронные частоты и для очень малых токов пучка – до 100 мкА. Разработано и отлажено программное обеспечение, работающее в среде EPICS. Запуск системы с пучком планируется в мае-июне 2013 года.
- Изготовлены и настроены 40 блоков электроники для измерения положения пучка в канале К-500 с помощью датчиков «wall current monitor». Блоки расположены рядом с датчиками и объединены одним коаксиальным кабелем для подачи питания, таймирующей сигналов и обмена информацией с управляющим компьютером.
- Разработан и изготовлен новый ЯМР-магнитометр, отличающийся повышенным быстродействием за счет более быстрой обработки сигналов ЯМР. Погрешность измерений однородных полей (с градиентом менее $10^{-4}/\text{см}$) не превышает 1 ppm. Магнитометр имеет встроенный ЦАП для создания обратной связи с источником питания магнита по полю. Изготовлены 3 магнитометра нового типа. Один из них установлен на ВЭПП-4, где применяется для стабилизации ведущего поля. 2 магнитометра установлены на ВЭПП-2000.
- Продолжены работы по совершенствованию системы стабилизации положения пучков СИ на ВЭПП-3. Проведена калибровка и замена рентгеновских фильтров-ослабителей.
- Продолжена работа по улучшению качественных и эксплуатационных параметров системы управления линейным индукционным ускорителем для импульсной рентгенографии (ВНИИТФ, г.Снежинск). В числе прочих работ проведена модернизация подсистемы синхронизации и блокировок для более точной синхронизации с проводимым опытом.
- Начаты работы по модернизации системы импульсных измерений комплекса ВЭПП-2000 на основе разработанных ранее прецизионных многофункциональных интеграторов VsDC2.
- С помощью созданных ранее стендов и программного обеспечения проведены измерения характеристик и приёмо-сдаточные испытания импульсных магнитов системы впуска/выпуска бустера NSLS-II.
- Успешно завершены магнитные измерения квадрупольных линз основного кольца NSLS-II, секступольных и квадрупольных линз бустера. Измерения проводились с помощью стендов, специально подготовленных для этой работы.
- Обеспечены необходимой аппаратурой и программами и проведены измерения импульсных параметров дипольных BD и BF-магнитов бустера NSLS-II.
- В Brookhaven National Laboratory запущена аппаратура для измерения импульсных магнитных полей септум и бамп-магнитов системы впуска/выпуска бустера NSLS-II.
- Начаты работы по установке и запуску системы термоконтроля на каналах СИ вигглера на ВЭПП-4.

- Разработана, изготовлена и налажена система управления и сбора данных инжектора нейтрального пучка для стелларатора W7X (Германия).
- Продолжена разработка, изготовление и наладка систем управления и сбора данных для стенда инжекторов нейтрального пучка установки «ТАЕ» (США).
- Начата разработка систем управления и сбора данных нового поколения для установок «ТАЕ-3U» (США).
- Разработана рабочая документация для системы управления и сбора данных инжектор нейтральных частиц (СИН) для токамака Т-15 (Москва).
- Изготовлены, налажены и переданы в эксплуатацию около 50 различных блоков с интерфейсом CAN-BUS для систем управления и контроля электрофизическими установками. Список разработанных модулей приведен в Таблице 7.3.1. Подробное описание модулей размещено на сайте лаборатории.

Таблица 7.3.1. 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	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	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.
CEIO 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
CEGVI8	8-канальный, 16-разрядный генератор задержанных импульсов, евромеханика

- Следует отметить, что устройства этого семейства широко используются при выполнении контрактных работ. За последние годы более половины произведенных модулей в комплекте с различными источниками питания и в составе контрольно-измерительных комплексов поставлены в рамках российских и зарубежных контрактов.
- В составе работающей системы проведены комплексные испытания электроники для питания и

управления электронной пушкой охладителя ионов для COSY.

- Продолжены работы по совершенствованию метрологических и эксплуатационных характеристик электроники для системы юстировки магнитного поля в соленоиде охладителя ионов (COSY).
- В рамках выполнения контрактной работы на бустере NSLS-II установлены и протестированы системы опроса термочувствительных датчиков и контроля вакуума.
- Продолжены работы по созданию системы управления четырехдорожечного ЛСЭ.
- Продолжена работа по внедрению современных интеллектуальных контроллеров в системах управления физических установок. Изготовлена очередная партия контроллеров и шлюзов CAN-Ethernet для различных установок института.
- На установке электронно-лучевой сварки продолжены работы по улучшению эксплуатационных характеристик системы поиска стыка и наведения электронного пучка. Продолжена работа над созданием модернизированного варианта системы для отработки сварочных технологий.
- Продолжены 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. На основе полученных результатов разработан серийный образец измерителя.
- Разработан, испытан и запущен в серийное производство модуль генератора временных интервалов для комплектации многочисленных импульсных систем канала К-500.

7.4. РАЗРАБОТКА НЕСТАНДАРТНОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

В Институте разрабатывается заметное количество нестандартной и специальной электроники, в частности, в 2012 году:

- Разработан, изготовлен и испытан коммутатор для питания вакуумных ионно-геттерных насосов. Номинальный ток устройства 50 А, напряжение 30 В.
- Продолжена разработка и изготовление емкостных и ультразвуковых гидростатических датчиков. По контракту с КЕК (Япония) начато изготовление 20 емкостных гидростатических датчиков.
- Разработан, изготовлен и успешно испытан 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 20 кВт высокочастотного напряжения 4 МГц, испытан при работе в составе атомарного инжектора. Начато изготовление генератора на мощность до 40 кВт.

- Для экспериментального производства ИЯФ разработана и запущена автоматическая система управления для новой печи на участке склейки.

В 2012 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.

7.5. ИССЛЕДОВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С МОДЕЛИРОВАНИЕМ И РЕШЕНИЕМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ УСКОРИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ

В 2012 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 стенке 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 магнитостатических 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 численное 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 страницы радиофизической 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, на сайте размещены руководства по эксплуатации (application notes).

7.6. НОВАЯ ВЧ СИСТЕМА 174 МГЦ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЯ БЭП

В Институте 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 2012 году в экспериментальном производстве были изготовлены корпус и центральные коаксиальные вставки резонатора. На текущий момент проведена контрольная сборка резонатора со всеми узлами и первые ВЧ измерения рабочей моды (рис. 7.6.1).



Рис. 7.6.1. Новый резонатор БЭП во время контрольной сборки в ЭП-1.

Заканчивается изготовление деталей фидерной линии, соединяющей генератор с резонатором. Система охлаждения выходного каскада генератора укомплектована покупным вентилятором. Система питания каскада будет использоваться от существующего генератора.

Изготавливаются и настраиваются новые блоки системы управления (частично в системе управления будет использована электроника старой ВЧ системы).

7.7. ПАССИВНЫЙ ОДНОМОДОВЫЙ ВЧ-РЕЗОНАТОР НА 816 МГЦ

В мае 2011 года ИЯФ заключил контракт с Национальным Центром Синхротронного излучения Китая в г. Хефэй (National Synchrotron Radiation Laboratory) на разработку и изготовление пассивного одномодового ВЧ-резонатора на 816 МГц (Рис. 7.7.1). 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 резонаторе регулируется отстройкой резонатора относительно гармоники ВЧ. Максимальное напряжение 80 кВ.

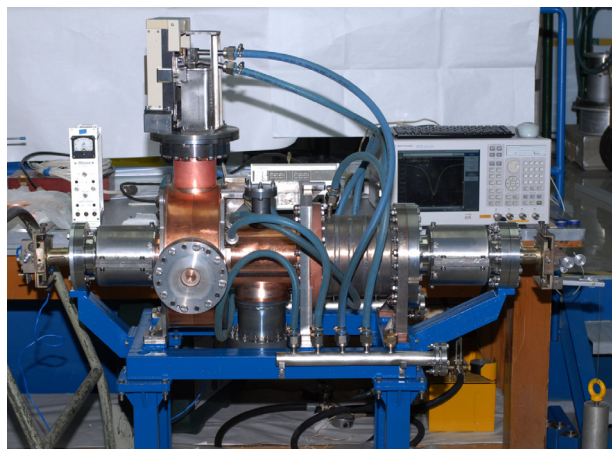


Рис. 7.7.1. Пассивный одномодовый ВЧ-резонатор на 816 МГц.

На данный момент резонатор собран со всеми узлами, проведены вакуумные испытания, измерения параметров основной моды и спектра высших мод. Отправка намечена на февраль 2013 году.

7.8. РАБОТЫ С ВЧ СИСТЕМОЙ НАКОПИТЕЛЯ ВЭПП-4

В настоящее время ВЧ система накопителя ВЭПП-4 выглядит следующим образом. От ВЧ генератора мощность подводится по прямоугольному волноводу на волноводный делитель, который распределяет эту мощность по пяти резонаторам.

В выходном каскаде генератора сейчас установлены две лампы ГУ-101А, что позволяет получить мощность до 200 кВт. Рабочая частота – 181,8 МГц.

Накопитель долгое время работал на энергии до 2 ГэВ. Для подъема в 2012 году энергии накопителя до 4,2 ГэВ потребовалось провести на ВЧ системе накопителя ряд работ, повышающих надёжность системы. Были проведены следующие работы:

- 1) Ревизия высоковольтной части шкафов выпрямителей смещения 5 кВ и 50 кВ. Постоянное напряжение от этих выпрямителей подаётся на электроды резонаторов с целью подавления мультипактора;
- 2) Ревизия и настройка ВЧ генератора, настройка межкаскадных связей генератора и связи генератора с волноводом;
- 3) Ревизия системы управления ВЧ системой;
- 4) С помощью специальных механизмов проведена расстройка высших мод резонатора и дополнительная настройка выходного каскада генератора, позволившие повысить порог возникновения фазовой неустойчивости накапливаемого пучка;
- 5) На установленном в кольцо осенью 2011 года новом резонаторе № 2 проведена ВЧ тренировка мультипактора в диапазоне от 30 кВ до 600 кВ. В настоящее время ухудшение вакуума вызывает зона мультипактора в районе 50 кВ. Эта зона быстро тренируется, но восстанавливается при снятии ВЧ на сутки и более.

ВЧ система устойчиво работает при суммарном напряжении до 2,8 МВ на 5 резонаторах. Мощность, рассеиваемая в стенках резонаторов при таком напряжении, равна 80 кВт. ВЧ система обеспечивает подъем энергии частиц в накопителе ВЭПП-4 до 4,2 ГэВ.



Рис. 7.8.1. Резонатор 181,8 МГц после доработки.

В 2012 году в ЭП-1 закончены работы по доработке ускоряющего резонатора ранее снятого с накопителя ВЭПП-4. Была улучшена конструкция индиевых вакуумных уплотнений дисков и портов узлов, устранены течи в сварных швах этих портов. В настоящее

время ведутся работы по подготовке вакуумного прогрева этого резонатора (Рис.7.8.1) вне кольца ВЭПП-4.

В ЭП-1 продолжена доработка запасных узлов для резонаторов ВЭПП-4.

7.9. РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОЩНЫХ ИНЖЕКТОРОВ ПУЧКОВ НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ ДЛЯ ПЛАЗМЕННЫХ УСТАНОВОК

7.9.1. Высокочастотная система диагностического инжектора нейтральных пучков RUDI-X для стелларатора «Вандельштейн».

В 2012 году в институте закончены работы по изготовлению диагностического инжектора пучков нейтральных атомов, для института физики плазмы имени Макса Планка (Грайфсвальд, Германия). Плазма в инжекторе создается с помощью высокочастотного (ВЧ) разряда. Для питания плазменного эмиттера изготовлена ВЧ-система.

Основные параметры системы приведены в таблице 7.9.1.

Таблица 7.9.1. Основные параметры ВЧ-системы инжектора RUDI-X.

Рабочая частота, МГц	$4 \pm 3,5\%$
Мощность в нагрузке, кВт	30
Амплитуда ВЧ напряжения на «антенне», кВ	0-8
Длительность модулированного импульса, сек	10
Максимальное время «высокого» уровня мощности в пределах импульса, сек	2,5
Напряжение анодного питания, кВ	10
Постоянное напряжение на «антенне», кВ	60

Сигнал 4 МГц формируется задающим генератором на малом уровне мощности. Частота задающего генератора перестраивается в пределах 3,5% системой фазовой автоподстройки, отслеживая резонансную частоту колебательного контура, образованного индуктором и керамическими конденсаторами, расположенными на экране ВЧ эмиттера.

Сигнал от задающего генератора усиливается регулируемым усилителем (РУ), обеспечивающим регулировку уровня выходной мощности и поддержание стабильной амплитуды. С выхода РУ сигнал поступает на транзисторный каскад предварительного усиления. Выходной каскад выполнен на металлокерамическом тетраде 4CW50000E, производства Eimac

(США), по схеме с общим катодом. С выхода каскада ВЧ мощность подаётся на индуктор плазменного эмиттера через разделительный ВЧ трансформатор. Разделительный трансформатор маслонаполненный. Магнитопровод тороидальный, изготовлен из аморфного железа. Конструктивно система размещена в трёх шкафах «Евромеханика».

7.9.2. Высокочастотная система для мощного, непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода.

В институте продолжают работы по проекту инжектора пучков быстрых атомов водорода с энергией атомов 500-1000 кэВ на основе отрицательных ионов. В качестве источника плазмы используется ВЧ разряд. Для питания источников спроектирована и изготавливается ВЧ система. Параметры ВЧ-системы приведены в таблице 7.9.2.

Таблица 7.9.2. Основные параметры первой очереди ВЧ системы экспериментального стенда, с током пучка 1,5 А.

Рабочая частота	$4 \pm 3,5\%$ МГц
Мощность в нагрузке	40 кВт
Режим работы	Непрерывный
Постоянное напряжение на «антенне» относительно платформы	120 кВ
Мощность анодного источника питания	400 кВт
Расход деионизованной воды для охлаждения тетрода 4CW50.000E	40 л/мин

Изготовлены элементы первой очереди ВЧ системы экспериментального стенда для ускорения пучка отрицательных ионов водорода с током 1,5 А до энергии 120 кэВ. Изготовлен и смонтирован полномасштабный источник анодного питания для всей системы (четыре канала). Выполнен механический и проводной монтаж стойки управления, одного канала высокочастотного генератора, разделительного высокочастотного трансформатора (Рис. 7.9.1.) на 120 кВ. На сегодняшний день осуществляется наладка системы.



Рис. 7.9.1. Разделительный ВЧ трансформатор.

7.10. УСКОРЯЮЩИЕ СТРУКТУРЫ CCDTL ДЛЯ LINAC4, CERN

ИЯФ СО РАН совместно с РФЯЦ-ВНИИТФ (Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский институт технической физики, г. Снежинск) изготавливают 7 ускоряющих модулей CCDTL (Coupled Cavity Drift Tube Linac, линейный ускоритель с трубками дрейфа и ячейками связи) на энергию от 50 до 104 МэВ для нового линейного ускорителя ионов Н на энергию 160 МэВ, строящегося в CERN в рамках модернизации инжекционного комплекса LHC.

В 2012 году завершено изготовление корпусов резонаторов всех 7-ми ускоряющих модулей. Изготовлены пролетные трубки для 6-ти модулей.

Проведены сборка, настройка и вч-измерения модулей №№ 2-6 с пролетными трубками на стенде в ИЯФ. Модули №№ 2 и 3 отправлены в CERN. В туннеле Linac4 модули CCDTL устанавливаются на жестких опорных рамах, изготавливаемых в ИЯФ. Перед отправкой в CERN была проведена контрольная сборка и юстировка модуля №2 на раме (Рис. 7.10.1.).

В CERN командой ИЯФ проведена сборка модулей №№ 2 и 3 (Рис. 7.10.2.).

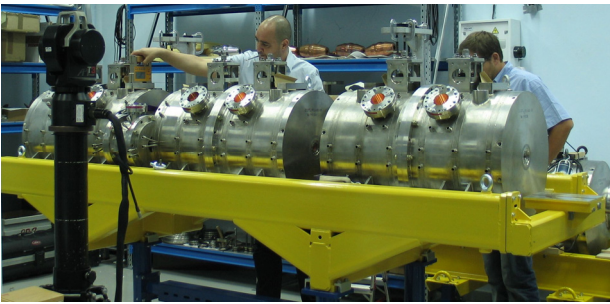


Рис. 7.10.1. Юстировка в ИЯФ модуля №2 (с участием представителей CERN).



Рис. 7.10.2. Сборка CCDTL модуля №2 в CERN командой ИЯФ.

Модуль №3 установлен на стенд для проведения "горячих" испытаний (Рис. 7.10.3) при номинальном напряжении на модуле. После 2-х недель ВЧ-тренировки достигнуто номинальное напряжение в режиме коротких импульсов (Рис. 7.10.4).

Завершение работ планируется в 2013 году.

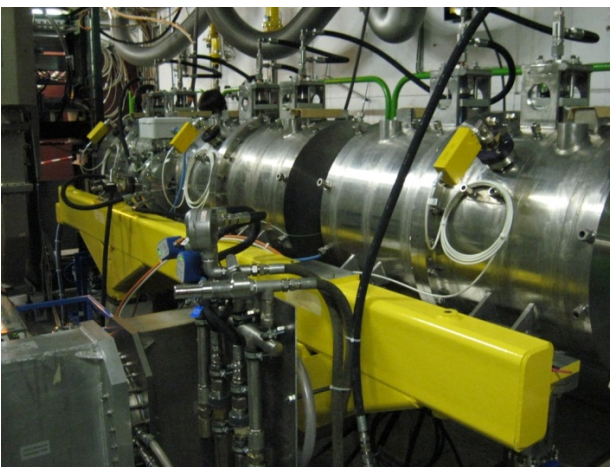


Рис. 7.10.3. Модуль №3 на стенде "горячих" испытаний в CERN.

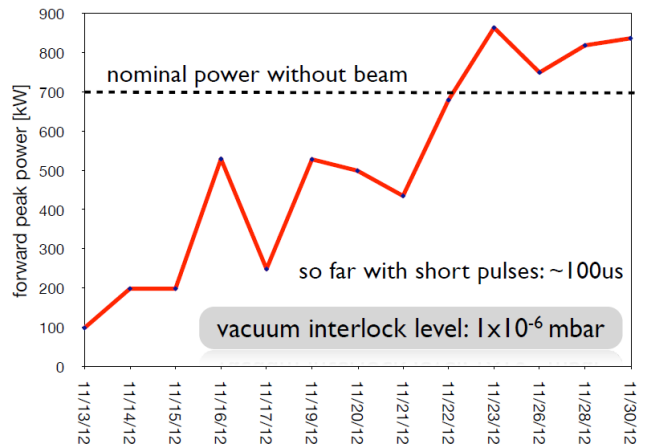


Рис. 7.10.4. Первые результаты "горячих" испытаний модуля №3.

7.11. УСКОРЯЮЩИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ СТАНЦИИ ИОННОГО БУСТЕРА КОЛЛАЙДЕРА NICA-MPD

Бустер ускорительного комплекса NICA-MPD предназначен для ускорения ионов Au^{32+} , инжектируемых из линейного ускорителя при энергии 2 МэВ/нуклон до энергии 600 МэВ/нуклон и электронного охлаждения сгустков.

Для бустера предусмотрены два режима работы – в цепочке проекта NICA и автономный режим.

Для работы в цепочке проекта NICA:

- адиабатический захват в режим ускорения и ускорение до энергии 40 МэВ/нукл на шестой гармонике частоты обращения;
- выход на стол магнитного поля для электронного охлаждения;
- адиабатический захват и ускорение охлажденного пучка на второй гармонике частоты обращения до энергии 600 МэВ/нукл;
- перепуск двух сгустков из Бустера в Нуклотрон за два раза.

Для работы в автономном режиме:

- адиабатический захват в режим ускорения и ускорение до энергии 600 МэВ/нукл на пятой гармонике частоты обращения;
- медленный вывод на мишень.

Ускоряющая система бустера состоит из двух одинаковых ускорительных станций, дающих по половине заданного максимального ускоряющего напряжения 10 кВ. Параметры ускоряющей системы Бустера даны в Таблице 7.11.1.

При перепуске сгустка из Бустера в Нуклотрон ускоряющие системы обоих ускорителей работают на второй гармонике частоты обращения. Периметр бустера 216 м, периметр Нуклотрона 251,52 м. Переводится два сгустка. Точность попадания в центр сепаратрисы Нуклотрона – 1 нс.

Таблица 7.11.1. Параметры ускоряющей системы Бустера.

№	Параметр	
1.	Диапазон перестройки частоты, MHz (NICA)	0,5 – 2,5
2.	Диапазон перестройки частоты, MHz (автономный режим)	0,5—5,5
3.	Номер гармоники (NICA)	6/2
4.	Номер гармоники (автономный режим)	5
5.	Внешний диаметр резонатора, м	< 1,2
6.	Размеры вакуумной камеры, мм	160 x 70 (или Ø160)
7.	Длина резонатора, м	1,4
8.	Высота от оси резонатора до пола ускорителя, мм	1500
8.	Количество резонаторов	2
9.	Минимальная амплитуда напряжения при адиабатическом захвате, В	100
10.	Амплитуда напряжения при ускорении, кВ	10
11.	Длительность ускорения (NICA), с	~0,3+~1,5=1,8
12.	Длительность ускорения (автономный режим), с	1,5

Система управления содержит задающий генератор частоты обращения. Обеспечивается связь частоты этого генератора с величиной магнитного поля и коррекция частоты в соответствии с датчиком положения пучка. Система управления также регулирует амплитуду ускоряющего напряжения в соответствии с синхронизирующими сигналами и заданной программой. Система управления ускорительными станциями должна быть интегрирована в общую систему управления ускорительным комплексом NICA-MPD. Параметры согласования будут определены после дополнительных консультаций.

Требования к вакуумным условиям: давление не выше $5 \cdot 10^{-11}$ Торр.

Режим работы Бустера (NICA) следующий:

- 80 последовательных циклов ускорения;
- автономный режим длительностью ~ 1 час.

Длительность цикла изменения магнитного поля (одного цикла ускорения) составляет 4 секунды. В течение цикла изменения поля ВЧ система работает на участках роста поля, суммарная длительность которых составляет 2 секунды.

В автономном режиме Бустера непрерывно повторяются циклы.

Длительность цикла ускорения составляет 6 секунд (рост- 1,5 секунды, полка – 3 секунды, спад – 1,5 секунды). Время работы с ВЧ – 1,5 секунды.

Тепловой режим рассчитан исходя из поддержания амплитуды ВЧ в 10 кВ на участках роста магнитного поля.

Конструкция.

Ускоряющие резонаторы смонтированы на рамах с четырьмя съемными ногами и снабжены подъемными рым-болтами. На съемных ногах снизу смонтированы регулируемые опоры для точной выставки. На ускоряющих резонаторах устанавливаются геодезические знаки для правильного позиционирования резонаторов в ускоритель. Ускоряющие резонаторы по существу являются не резонаторами, а широкополосными неперестраиваемыми индуктивно-активными нагрузками из ленты аморфного железа, намотанного в 44 кольца. Лента аморфного железа марки 5В-М толщиной ~ 30μм шириной 15 мм смотана в кольца наружным диаметром 500 мм и внутренним диаметром 250 мм. Кольца по два склеены между собой и снаружи нанизаны на вакуумную камеру симметрично с двух сторон относительно керамического изолятора ускоряющего зазора (Рис.7.11.1.).

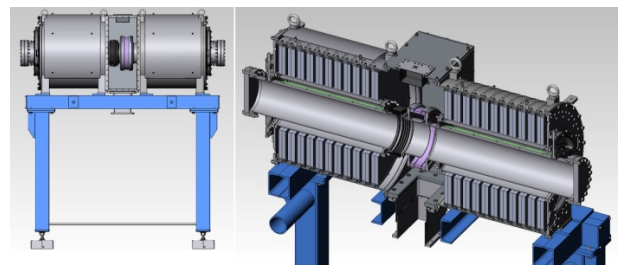


Рис. 7.11.1. Устройство ускоряющего резонатора ускорительной станции Бустера.

Между парами колец оставлены зазоры для прохода охлаждающего воздуха от центра в радиальном направлении. Зависимость импеданса от частоты для половины резонатора в рабочей полосе частот показана на Рис 7.11.2.

Модуль ВЧ генератора с источниками анодного и экранного питания на роликах подкатывается под резонатор, и ускоряющий зазор соединяется с анодами тетродов короткими LC-цепочками, частично компенсирующими реактивный характер нагрузки для ламп в рабочей полосе частот. Выходной каскад усиления ВЧ генератора широкополосный симметричный двухтактный на тетродах ГУ-36Б1 в схеме с общим катодом. Охлаждение ВЧ станции – воздушное.

Воздушное охлаждение обеспечивается от приточного вентилятора через гибкий рукав. Вентилятор находится в отдельном коробе с воздушными фильтрами на наружных стенках. Анодное напряжение питания тетродов - 4 кВ, экранное напряжение - 1 кВ. Тетроды работают без отсечки в режиме «А» на самом линейном участке ВАХ, при этом на анодах выделяется мощность, близкая к максимально допустимой, но средняя мощность рассеиваемая на лампах значительно меньше, так как лампы отпираются сме-

щением по управляющим сеткам только на время подачи возбуждающего ВЧ сигнала на время ускорения 1,5-1,9 секунды с перерывами 4 - 4,5 секунды. При этом величина постоянного смещения на управляющих сетках отпертых ламп подбирается индивидуально для выравнивания токов, чтобы не замагничивался высокочастотный ферритовый дроссель анодного питания. Принципиальная схема выходного каскада по высокой частоте дана на Рис.7.11.3.

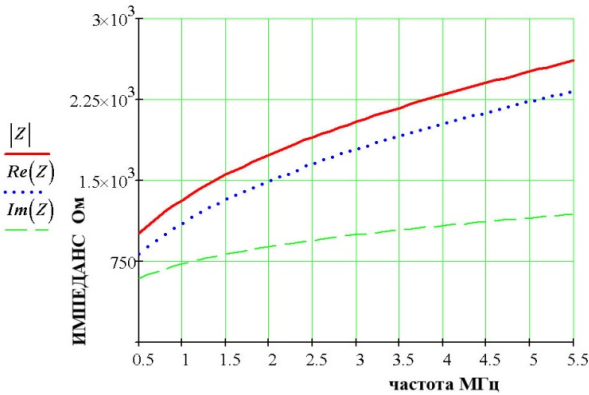


Рис. 7.11.2 Импеданс половины ускоряющего резонатора.

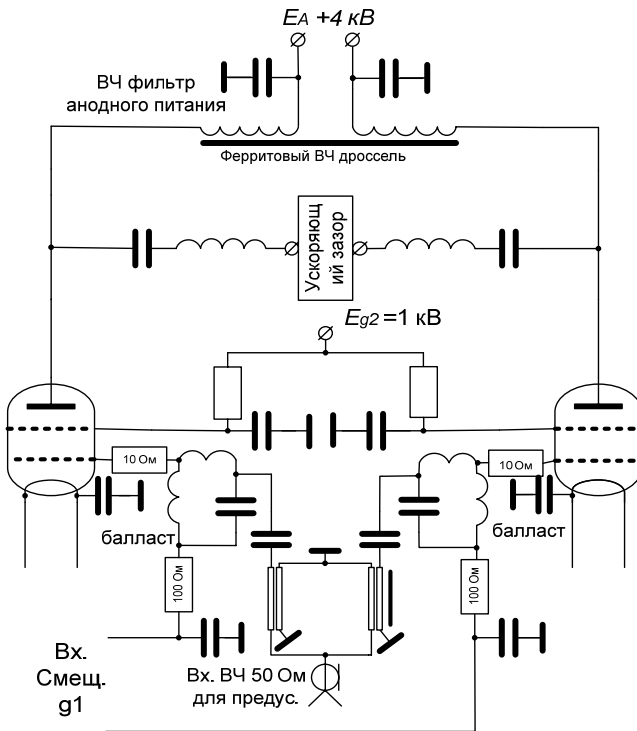


Рис. 7.11.3. Схема выходного каскада ВЧ генератора по высокой частоте.

Входной сигнал от предусилителя делится поровну и в противофазе подается на управляющие сетки с помощью 100-омных линий из скрученных пар на феррите и без феррита.

Состояние работ.

Отправка заказчику запланирована на IV квартал 2013 года. В настоящее время заканчивается производство ускоряющих резонаторов и подставок для них, изготовлены платы входных и выходных цепей выходного каскада, трансформаторы и дроссели источников питания, запущены в производство корпуса выходного усилителя и бокса вентилятора, заканчивается закупка комплектующих. На Рис. 7.11.4. показаны внутренние отрезки вакуумной камеры для половины резонаторов, на Рис. 7.11.5 кожух половины резонатора с отверстиями для выхода охлаждающего воздуха.



Рис. 7.11.4. Детали и узлы ВЧ резонатора в цехе.



Рис. 7.11.5. Кожух половины резонатора с отверстиями для выхода охлаждающего воздуха.

7.12. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЫСОКО-ЧАСТОТНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО УСКОРИТЕЛЯ В НАУЧНОМ ЦЕНТРЕ КАЕРИ, РЕСПУБЛИКА КОРЕЯ

В соответствии с контрактом между ИЯФ и научным центром КАЕРИ, Республика Корея, лаборатория выполняла работы по восстановлению высокочастотных систем электронного ускорителя, пострадавшего там в результате пожара в апреле 2009 года. Ускоритель имеет две высокочастотные системы. Первая система работает на частоте 176 МГц и имеет 3 независимых канала с суммарной мощностью ВЧ генераторов 200 кВт в непрерывном режиме. Два канала второй ВЧ системы работают на частоте 352 МГц. Суммарная мощность питающих ВЧ генераторов – 100 кВт. В 2012 году была выполнена первая часть контракта – восстановление первой ВЧ системы.

В течение 2012 года в ИЯФ были изготовлены заново источники питания ВЧ генератора, включающие анодный выпрямитель 9,0 кВ с выходной мощностью 600 кВт в непрерывном режиме, система управления с набором управляющих программ. В мае – июне 2012 года группа специалистов лаборатории выезжала в Корею для монтажа оборудования и подготовки остального оборудования для запуска ускорителя. Были произведены монтаж и наладка источников питания ВЧ генератора, наладка ВЧ каскадов усилителей мощности, выполнены профилактические работы на ускоряющих резонаторах. После включения всей системы были получены необходимые ВЧ напряжения на ускоряющих резонаторах, и электронный пучок был ускорен до необходимой энергии. В следующем году планируется восстановление второй ВЧ системы, что будет являться завершением работы по контракту.

7.13. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ИНЖЕКТОР МИКРОТРОНА-РЕКУПЕРАТОРА

В 2012 году были успешно проведены первые испытания высокочастотного инжектора для микротрона-рекуператора, состоящего из ускоряющего резонатора 90 МГц со встроенным сеточным термокатодным узлом. Испытания проводились на специально созданном стенде.

Испытания включают в себя ВЧ-тренировку резонатора для получения высокого ускоряющего градиента. На данном этапе тренировка резонатора проведена до номинального напряжения 300 кВ в непрерывном режиме и до напряжения 450 кВ в импульсном режиме. Достигнуты хорошие вакуумные характеристики резонатора. Работы проводились при давлении ниже 10^{-6} Па. Порог возникновения радиационного излучения, за счет темновых токов, повысился в процессе тренировки со 100 кВ до 250 кВ. После получения партии сеточно-катодных узлов, изготовлен-

ных ОАО НЭВЗ-«Союз», и установки одного из них в резонатор были проведены испытания с пучком.

На данный момент получены сгустки на выходе ВЧ инжектора с зарядом до 1,5 нКл и регулируемой длительностью в интервале 0,5-1,5 наносекунды. Длительность меняется в зависимости от фазы отпирающего импульса относительно фазы ВЧ в резонаторе, что согласуется с расчетами. Энергия сгустков, при испытаниях, устанавливалась в интервале 100-250 кэВ. Частота повторения сгустков, 20 кГц, была выбрана минимальной, чтобы не допустить перегрева нагрузки пучком. Блок отпирающих импульсов, управляющий сеточно-катодным узлом, протестирован на получение сгустков с номинальной частотой повторения 90 МГц (на аналогичном узле ВЧ лампы ГС-34).

Работы на стенде планируется продолжить в 2013 году. В частности, после установки усиленной радиационной защиты и 30 кВт нагрузки для пучка предполагается поднять энергию пучка до номинальной величины 300 кэВ и средний ток пучка до 100 мА. Сейчас создается и совершенствуется система диагностики пучка на стенде. Устанавливается поворотный магнит для измерения энергии пучка и его энергетического разброса. Подготавливается к установке оборудование для измерения эмиттанса и других характеристик пучка.

7.14. ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ПУШКА ДЛЯ УСКОРИТЕЛЯ РФЯЦ-ВНИИЭФ

В ИЯФ разрабатывается инжектор для ускорителя РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров. Основной частью инжектора является сеточно-управляемая термокатодная ВЧ пушка на основе высокочастотного коаксиального резонатора 100 МГц, запитываемого от ВЧ генератора мощностью до 20 кВт. Средний ток ВЧ инжектора – 40 мА и выше, энергия электронов 50-100 кэВ. Преимущество ВЧ пушек, по сравнению со статическими пушками, заключается в неизмеримо большем времени жизни катодов при высоком среднем токе пучка, из-за отсутствия в них бомбардировки катода обратно ускоренными ионами остаточного газа, ионизированного электронным пучком. Аналогичная термокатодная ВЧ пушка, созданная в ИЯФ для микротрона-рекуператора, проходит в данный момент тестирование на стенде.

7.15. МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЧ СИСТЕМЫ МИКРОТРОНА ЛСЭ

Продолжены работы по модернизации ВЧ генераторов микротрона ЛСЭ. Проводилась замена ламп ГУ101А на ТН781 компании THALES по мере поступления последних. С целью повышения выходной мощности генераторов проведена работа по оптимизации источников питания для генераторов на лампах ТН781.

8

МОЩНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ

УСКОРИТЕЛИ

8.1 ПОСТАВКИ УСКОРИТЕЛЕЙ ТИПА ИЛУ

Начиная с 1983 года, ускорители типа ИЛУ поставляются в промышленность, где они используются для исследовательских работ и для работы в составе промышленных технологических линий. Некоторые из этих машин загружены работой 2-3 смены в сутки на протяжении многих лет и успешно выдерживают подобную нагрузку. Надежность работы ускорителей и их технический уровень подтверждаются новыми поставками оборудования.

По контракту с корейской фирмой EB-TECH Co. Ltd, было разработано и изготовлено оборудование для генерации тормозного излучения – 2 конвертера с коллиматорами для двух ускорителей мощностью до 10 кВт на диапазон энергии от 5 до 7,5 МэВ. Наличие регулируемого коллиматора было изначально определено заказчиком. Коллиматоры ограничивают боковое поле излучения генерируемого мишенью конвертора.

Начались наладочные работы на ускорителе ИЛУ-10 в Парке ядерных технологий, г. Курчатов, Казахстан.

Проводились работы на ускорителе ИЛУ-14, поставленном и смонтированном в Федеральном медицинском биофизическом центре им. Бурназяна, г. Москва.

В 2012 году 2 ускорителя ИЛУ-10 были смонтированы, налажены и запущены в работу в компании СФМ-Фарм, Биотехнопарк в посёлке Кольцово Новосибирской области. На Рис. 8.1.1 показан ускоритель ИЛУ-10 в Кольцово – вакуумный бак с резонатором и ВЧ генераторы.

В 2012 году с ОАО ОКБ КП, г. Мытищи, был подписан договор на разработку, изготовление, монтаж и наладку ускорителя электронов ИЛУ-8 для радиационной технологической обработки проводов и кабелей.



Рис. 8.1.1. Ускоритель ИЛУ-10 в Кольцово, вакуумный бак с резонатором и ВЧ генераторы.

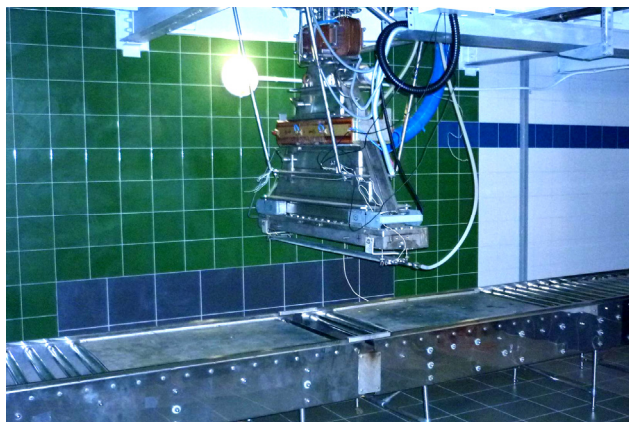


Рис. 8.1.2. Стандартное треугольное выпускное устройство ускорителя ИЛУ-10 и подпучковый конвейер, Кольцово, Новосибирская область.

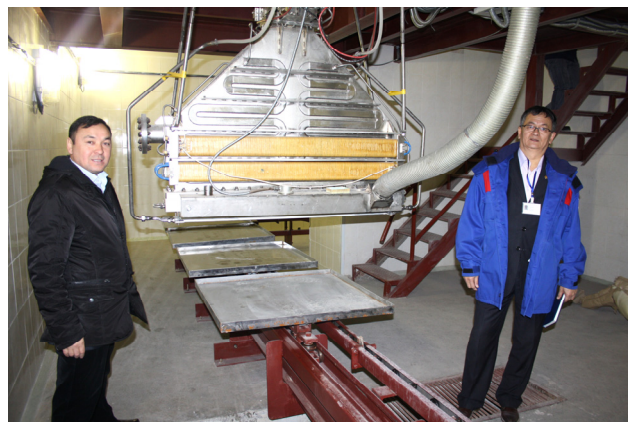


Рис. 8.1.3. Выпускное устройство ускорителя ИЛУ-10 новой конструкции с новой системой сканирования пучка и подпучковый конвейер, г. Курчатов, Казахстан.

8.2. РАЗРАБОТКА МОЩНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЦЕЛЕЙ И ОТРАБОТКИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

8.2.1. Разработка системы сканирования электронного пучка с независимым от импульса ускорителя силовым питанием.

В ускорителях серии ИЛУ мощный пучок электронов выводится в атмосферу через выпускное окно, закрытое титановой фольгой. Для предотвращения локального перегрева и разрушения фольги пучок электронов сканируется вдоль выпускного окна. Система сканирования и выпуска электронного пучка является частью ускорителя, без которой он не сможет работать.

Ускорители ИЛУ являются импульсными машинами, длительность импульса – около 0,5 миллисекунды, частота повторения импульсов – до 50 Гц.

В 2012 году шла разработка новой системы развёртки для ускорителя ИЛУ-10 с энергией электронов до 5 МэВ и импульсным током пучка до 400-500 мА. Во время импульса (0,5 мс) система сканирования пучка должна обеспечить генерацию импульса тока такой формы и амплитуды, чтобы магнитное поле отклонило пучок электронов и обеспечило его сканирование вдоль выпускного окна, и при этом неравномерность поглощённой дозы под выпускным окном должна быть минимальной.

Была разработана новая магнитная система, проведено моделирование прохождения пучка через выпускное устройство, разработана схема силового питания и управления магнитной системой.

Отклоняющие катушки магнитной системы располагаются вокруг горловины выпускного устройства в атмосфере, в канал пучка (где поддерживается высокий вакуум) магнитное поле проникает через тонкие стенки из нержавеющей стали. При времени развёртки 0,5 мс стенки существенно изменяют магнитное поле, создаваемое отклоняющими катушками. Было проведено моделирование формирования импульсного магнитного поля в канале пучка с учётом влияния стенок.

Для новой системы сканирования электронного пучка была разработана новая конструкция раструба выпускного устройства. На Рис. 8.1.2 показано стандартное выпускное устройство ускорителя ИЛУ-10 треугольной формы, а на Рис. 8.1.3. показано выпускное устройство ускорителя ИЛУ-10 новой конструкции с новой системой сканирования пучка, установленное в Парке ядерных технологий, г. Курчатов, Казахстан. В отличие от стандартного выпускного устройства с одной линзой Пановского в новом выпускном устройстве для доворота пучка перед фольгой выпускного окна используются 2 линзы Пановского,

расположенные одна над другой (их обмотки жёлтого цвета видны на Рис. 8.1.3).

Система сканирования электронного пучка с независимым от импульса ускорителя силовым питанием была изготовлена, собрана, проверена и настроена. Эта система поставлена в составе оборудования ускорителя ИЛУ-10 установленного в облучательном центре Парка ядерных технологий, г. Курчатов, Казахстан.

Параметры системы сканирования пучка:

Магнитное поле – до 0,1 Тл;

Ток отклоняющих магнитов – до ± 250 А;

Зарядное напряжение цепи питания сканирующего электромагнита – до 700 В.

Система сканирования позволяет корректировать форму тока для получения хорошей равномерности поглощённой дозы вдоль выпускного окна.

8.2.2. Разработка системы управления мощными импульсными модуляторами ускорителей ИЛУ.

Для питания ВЧ генераторов мощного (до 100 кВт) ускорителя ИЛУ-14 с энергией до 10 МэВ и импульсным током пучка до 600 мА используются 3 импульсных источника питания (модулятора), см. Рис. 8.2.1. ВЧ генераторы собраны на лампах ГИ-50А.

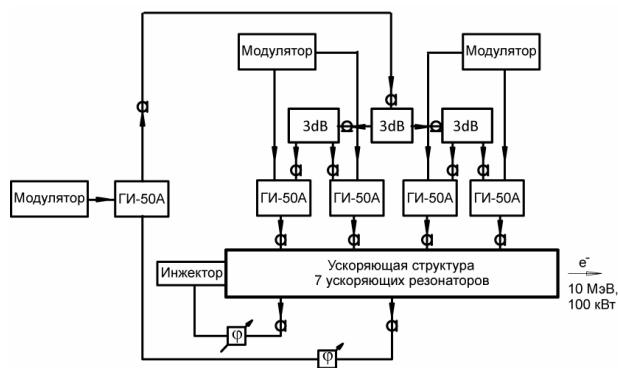


Рис. 8.2.1. Блок-схема ускорителя ИЛУ-14 на энергию до 10 МэВ и ток пучка до 10-12 мА.

Для оптимизации нагрузки на питающую сеть была разработана система управления тремя модуляторами ИЛУ. Периоды накопления энергии в индуктивных реакторах каждого из модуляторов разнесены по времени. Генерация мощных импульсов питания ВЧ генераторов ускорителя осуществляется всеми тремя модуляторами синхронно. Работа с этой системой питания и управления была продолжена в 2012 году.

8.3. РАЗРАБОТКА НОВЫХ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Радиационно-термическая закалка коронок буровых фрез проводилась совместно с Институтом теоретической и прикладной механики СО РАН.

На Рис. 8.3.1 показан шлиф коронки, зона закалки потемнела. В результате такой обработки прочность коронок на истирание увеличивается в 2 раза, а это приводит к увеличению ресурса работы в 2 раза.

Совместно с Институтом автоматики и электрометрии СО РАН проводилась электронно-лучевая обработка оптических кабелей для создания дефектов, которые могут обеспечить эффект лазерного усиления передаваемых сигналов.



Рис. 8.3.1. Шлиф коронки, зона закалки потемнела.

Разработка процесса радиационно-термического синтеза ферритов проводилась совместно с Томским политехническим университетом.

Электронно-лучевая обработка кормовых смесей для птиц проводилась совместно с Институтом экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ИЭВСиДВ Россельхозакадемии) для увеличения срока годности продуктов северного завоза.

Совместно с Институтом гидродинамики СО РАН исследовалось влияние облучения на образцы из различных полимеров (полиэтилена, фторопласта и полиметилметакрилата) для изучения изменения прочностных свойств (упруго-пластических деформаций). Цель работы – набор данных для моделей расчёта деформаций.

Исследование влияния облучения на образцы специальным образом приготовленной нейлоновой плёнки с различными пропитками производилось в рамках работы по созданию протезов кровеносных сосудов совместно с Институтом химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН. Первые опытные образцы протезов уже успешно вживлены мышам. Конечная цель – нарастание собственных тканей организмов на этих протезах.

Проводились эксперименты по радиационно-стимулированному отверждению эпоксидных компаундов.

Процесс электронно-лучевой полимеризации метилметакрилата в масляном растворе разработан совместно с Институтом химии твёрдого тела СО РАН.

Возможности процессов электронно-лучевой обработки тяжёлых углеводородных соединений (в том числе гудрона и пека) изучались совместно с Институтом химии твёрдого тела СО РАН.

Электронно-лучевая обработка стеарата серебра и растворов солей серебра с целью получения наночастиц серебра проводилась совместно с Институтом химии твёрдого тела СО РАН.

Изучение механизмов химических реакций инкапсулированных систем на основе наноструктурированных оксидов сформированных при механохимическом и радиационнотермическом воздействии с целью создания материалов с заданными функциональными характеристиками проводилось в рамках Интеграционного проекта СО РАН - НАН Беларуси № 19, совместно с Институтом химии твёрдого тела СО РАН.

9

ФИЗИКА

для

МЕДИЦИНЫ

9.1. СТАТУС РАБОТ ПО БНЗТ

9.1.1. Введение.

В настоящее время бор-нейтронозахватная терапия рассматривается как перспективный метод лечения злокачественных опухолей. Проведенные на ядерных реакторах клинические испытания показали возможность лечения глиобластомы мозга и метастаз меланомы, не поддающихся другим методам лечения. Широкое внедрение методики в клиническую практику требует компактных и недорогих источников эпитепловых нейтронов. В ИЯФ СО РАН был предложен и сооружен прототип такого источника на основе новаторского 2 МэВ ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией и генерации нейтронов в результате реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$. Хотя ускоритель рассчитан на возможность получения 5 мА протонного пучка, но в проведенных в 2008-11 годах экспериментах обычно получался протонный пучок с током в сотни микроампер, а эпизодически в течение короткого времени – несколько мА. Такого тока пучка вполне хватило для демонстрации генерации нейтронов, для исследований по генерации монохроматических гамма-квантов, и начальных *in vitro* исследований, но явно недостаточно для планомерных исследований БНЗТ и других приложений. Основная цель работ 2012 года состояла в увеличении тока протонного пучка и улучшении стабильности работы ускорителя.

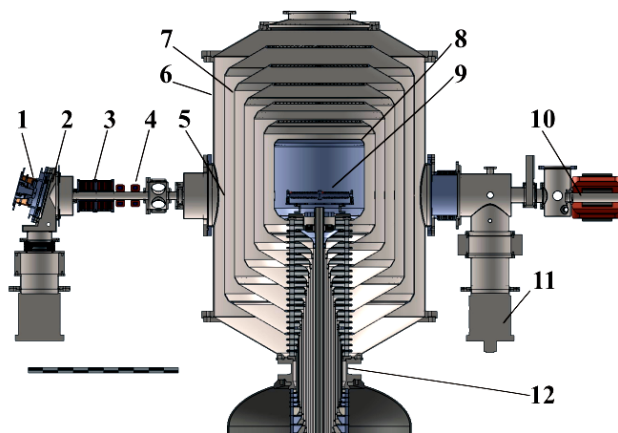


Рис. 9.1.1. Ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией. 1 – H^- ионный источник, 2 – диафрагма, 3 – магнитные линзы, 4 – корректор, 5 – место временного расположения детектора пучка, 6 – ускоритель, 7 – электроды, 8 – высоковольтный электрод, 9 – обдирочная мишень, 10 – высокоэнергетический тракт пучка, 11 – насос откачки, 12 – проходной изолятор.

Общий вид ускорителя приведен на рис. 9.1.1. Инжектируемые отрицательные ионы водорода ускоряются до 1 МэВ подаваемым на высоковольтный электрод потенциалом, превращаются в протоны в газовой обдирочной мишени, и затем протоны тем же потенциалом ускоряются до 2 МэВ. Откачка газа обдироч-

ной мишени осуществляется криогенным и турбомолекулярными насосами через систему жалюзи. Потенциал на высоковольтный и пять промежуточных электродов подается от высоковольтного источника напряжения через проходной изолятор, в котором установлен омический делитель.

9.1.2. Темновые токи.

Ускоритель характеризуется высокой напряженностью электрического поля в межэлектродном промежутке – порядка 25 кВ/см, и большой общей площадью электродов – десятки квадратных метров. В такой системе в межэлектродных промежутках неизбежно должны протекать темновые токи различной природы, которые могут оказывать значительное влияние на распределение потенциала вдоль ускорительного канала.

При тренировке ускорителя в момент подъема напряжения регистрируется темновой ток, связанный с возникновением микрозарядов, сопровождающихся десорбцией адсорбированных газов с поверхности электродов. Обычно в течение часа тренировки величина темнового тока уменьшается с характерных значений 100 – 300 μA до десятка микроампер, вплоть до единиц микроампер.

В серии экспериментов с целью увеличения тока пучка в тракте ускорения пучка отрицательных ионов водорода были увеличены диаметры отверстий электродов с 20 до 58 мм, за исключением высоковольтного электрода, в котором диаметр отверстия остался по-прежнему 20 мм. Данное изменение привело к частой регистрации темного тока большой интенсивности – до 3 – 4 мА. Протекание такого тока по сравнению со стандартным режимом тренировки приводило к почти 100-кратному увеличению мощности радиации. Последнее обстоятельство указывало на большую энергию электронов, что возможно при протекании тока в зазоре не между соседними электродами, а, например, между корпусом вакуумного бака или первым электродом и высоковольтным. Данное предположение было подтверждено измерением спектра рентгеновского излучения ВГО-спектрометром – максимум сместился со 120 до 400 кэВ. Было выяснено, что при увеличении апертуры канала напряженность электрического поля острого края отверстия катодной части рамки крепления диафрагмы возрастает на 20% – до 51 кВ/см, что приводит к усиленной эмиссии электронов, выносимых при этом непосредственно в ускорительный канал. Для предотвращения возникновения данного явления была уменьшена апертура канала и закруглены острые края отверстий рамки крепления диафрагм. Данное исследование показало на опасность превышения напряженности электрического поля в 50 кВ/см. Ранее нами было обнаружено, что при напряженности электрического поля 70 кВ/см происходит резкое возрастание автоэмиссионного тока в высоковольтном зазоре.

9.1.3. Инжекция пучка.

Ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией характеризуется не только высоким темпом ускорения, но и сильной входной электростатической линзой в области между корпусом ускорителя и первым ускоряющим электродом. Для изучения и оптимизации инжекции пучка отрицательных ионов водорода в ускоритель был изготовлен и установлен в этом месте вторично-эмиссионный 43-канальный детектор пучка. Пучок отрицательных ионов водорода с энергией 21 кэВ и током до 5 мА генерируется поверхностно-плазменный источником, использующим пеннинговский разряд с полым катодом. После поворота пучка на угол 15° осевая часть пучка вырезается 28-мм конусной диафрагмой и влетает в транспортный канал. Далее расходящийся пучок фокусируется двумя магнитными линзами и может сдвигаться корректором. Детектор пучка закреплён непосредственно на первом электроде ускорителя. Детектором была измерена зависимость максимальной относительной плотности тока пучка от тока магнитных линз. Определено, что наилучшее согласие с численным расчетом достигается в предположении полной компенсации пространственного заряда в транспортном канале и при задании поперечной температуры ионов на плазменной границе источника равной 1 эВ. Данное исследование позволило обеспечить фокусировку пучка, требуемую для обеспечения ускорения пучка без значительных потерь.

9.1.4. Обдирочная мишень.

Для увеличения токопрохождения была изготовлена новая газовая обдирочная мишень, выполненная в виде охлаждаемой трубки длиной 400 мм внутренним диаметром 16 мм с напуском аргона посередине. Ранее использовалась трубка диаметром 10 мм.

В ускоритель с потенциалом высоковольтного электрода 800 кВ инжектировался пучок отрицательных ионов водорода энергией 21 кэВ. При отсутствии подачи газа в обдирочную мишень цилиндр Фарадея на выходе из ускорителя регистрирует отрицательный ток. Этот ток является током отрицательных ионов водорода, которые были сначала ускорены, а затем замедлены. При подаче газа в обдирочную мишень происходит перезарядка отрицательных ионов водорода в протоны. При толщине обдирочной мишени $0,29 \cdot 10^{16}$ см⁻² количество появившихся протонов сравнивается с количеством отрицательных ионов водорода и регистрируемый ток становится равным нулю. Регистрация момента перехода тока от отрицательных значений к положительным при изменении давления стала полезной прямой диагностикой плотности обдирочной мишени. Также толщина газовой мишени опосредованно характеризуется давлением остаточного газа, поскольку экспериментально измеренная зависимость остаточного давления от количества напускаемого га-

за линейна в рабочем диапазоне параметров. При дальнейшем увеличении плотности мишени происходит рост тока и выход его на насыщение. При инжектируемых токах в районе сотен микроампер экспериментально измеренная зависимость хорошо согласуется с расчетной (Рис. 9.1.2).

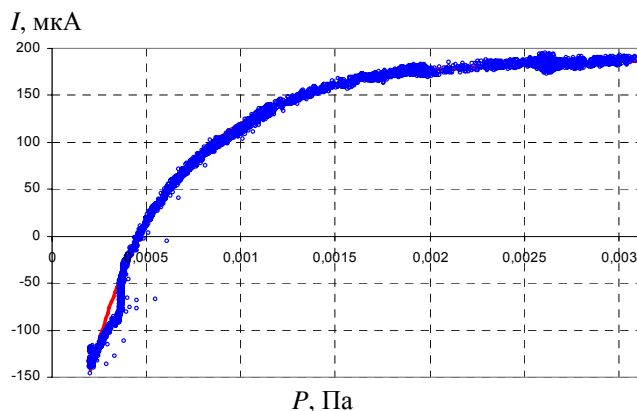


Рис. 9.1.2. Измеренная и расчетная (линия) зависимость регистрируемого тока на выходе ускорителя от давления остаточного газа.

9.1.5. Модификация проходного изолятора.

Проходной изолятор ускорителя-тандема состоит из 24 секций из стекла, уплотняемых на электроды изолятора при помощи индия. Внутри вакуумной части изолятора предусмотрен омический делитель, обеспечивающий равномерное распределение потенциала между электродами ускорителя. Изолятор такой конструкции требует регулярного технического обслуживания с обязательной выстойкой после сборки в течение месяца до достижения рабочей толщины индиевых уплотнений в секциях. Была выполнена доработка электродов изолятора, позволяющая использовать резиновые уплотнения и существенно сократить расход времени на техническое обслуживание. В дальнейшем планируется создание нового проходного изолятора, исключающего размещение делителя в вакуумной части, что позволит увеличить периоды технического осмотра до нескольких лет.

9.1.6. Темная материя.

Предложен новый метод генерации моноэнергетических нейтронов любых энергий. Генерация нейтронов осуществляется с помощью пучка протонов, получаемого на ускорителе, и нейтроногенерирующей мишени. Метод базируется на применении пороговой реакции генерации нейтронов и на использовании тонкого нейтроногенерирующего слоя. Пучок моноэнергетических нейтронов формируют из нейтронов, испущенных в направлении, обратном направлению распространения протонов. Энергия нейтронов однозначно определяется энергией протонов и углом испускания. Монохроматичность пучка определяется

энергией протонов, телесным углом и толщиной нейтроногенерирующего слоя.

В деталях рассмотрена реализация предложенного метода для получения 77 кэВ нейтронов с применением реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$. Показано, что пучок 77 кэВ нейтронов наилучшим образом подходит для измерения q_{encl} -фактора жидкого аргона, используемого в качестве детектирующего вещества детектора темной материи. Определен план работ на установке для проведения калибровки детектора темной материи.

Изложенные идеи проверены на патентную чистоту, объединены единым замыслом и направлены в виде заявки “Способ получения пучка моноэнергетических нейтронов, устройство для его осуществления и способ калибровки детектора темной материи с использованием полученного пучка моноэнергетических нейтронов” для оформления права на интеллектуальную собственность.

9.1.7. Результаты и перспективы.

Проведенные исследования позволили перейти к длительной стабильной работе со значительно более высоким средним током – $1,5 - 2,5 \text{ мА}$ вместо ранее достижимых $0,1 - 0,7 \text{ мА}$. Такой ток обеспечивает возможность измерения спектра нейтронов времяпроблетной методикой, проведения *in vitro* и *in vivo* исследований для отработки методики БНЗТ. Методом численного моделирования проведена оптимизация блока формирования пучка эпитепловых нейтронов и, помимо стандартного режима с $2,5 \text{ МэВ}$ протонным пучком, определены еще 2 приемлемых режима: 1) припороговый при энергии $1,95 \text{ МэВ}$, отличающийся малой степенью активации мишени и установки, и 2) ортогональный при $2,5 \text{ МэВ}$, характеризующийся высокой мощностью терапевтической дозы – до 3 Зв/мин при токе 10 мА . Найденные режимы позволяют внести изменения в дизайн установки для клиники, делающие ее более привлекательной.

Также на установке имеется возможность и планируется проводить исследования 1) по отработке методики оперативного обнаружения взрывчатых и наркотических веществ методом резонансного поглощения генерируемых монохроматических гамма-квантов, 2) по измерению сечения и спектра α -частиц безнейтронной термоядерной реакции ${}^{11}\text{B}(p,\alpha)2\alpha$, 3) по датированию горной породы (апатита) индуцированием деления содержащихся в ней ядер урана, 4) по формированию монохроматических пучков эпитепловых нейтронов для калибровки детектора темной материи.

Выполнение работы осуществляется в рамках программы фундаментальных исследований СО РАН по физике и технике ускорителей заряженных частиц. Частичная поддержка работы обеспечивается выполнением государственных контрактов № 16.518.11.7038 и № 14.518.11.7039, междисциплинарных интеграционных проектов фундаментальных исследований СО РАН № 52 «Онкогенез глиом и репарация мозга человека» и № 134 “Реализация раз-

мерных эффектов в оригинальных нанобиокомпозитах с управляемым комплексом магнито-, нейтроно-, гамма-, рентгено-, фото-, радиочувствительных и высокобиоспецифичных свойств для нового качественного уровня мало- или неинвазивной лучевой диагностики и лечения”, гранта РФФИ 12-02-31402 «Получение моноэнергетических нейтронов для калибровки детектора темной материи».

Результаты работы представлены на XV Международном конгрессе по нейтронозахватной терапии (10-14 сентября 2012, Цукуба, Япония), на XXIII Всероссийской конференции по ускорителям заряженных частиц (24-28 сентября 2012, Санкт-Петербург), приняты для представления на Международном симпозиуме по нейтронной и ионной дозиметрии (июнь 2013, Франция) и опубликованы в печати.

9.2. ДЕТЕКТОРЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ И ДОСМОТРА ЛЮДЕЙ

9.2.1. Малодозовая Цифровая Рентгенографическая Установка (МЦРУ) «Сибирь».

В начале 2012 года была завершена разработка линейного детектора для цифрового флюорографа с оптимальными для данного типа рентгенографических обследований параметрами. По сравнению с аналогичным детектором Д1536, который производился в ИЯФ с 2010 года, новый детектор Д2048 обладает более высоким пространственным разрешением (2,5 п.л./мм вместо 2,0 п.л./мм) и большим размером входного окна (426 мм вместо 400 мм). Кроме того, детектор Д2048 более технологичен при изготовлении. Для нового детектора было разработано программное обеспечение, позволяющее использовать его в составе рентгенографической установки. Технология изготовления и программное обеспечение нового детектора были куплены одной из китайских фирм в рамках контракта № RU/E-11034. Работы по этому контракту были полностью завершены в конце 2012 года.

Был изготовлен пилотный образец детектора Д2048, с которым проведены тестовые измерения.

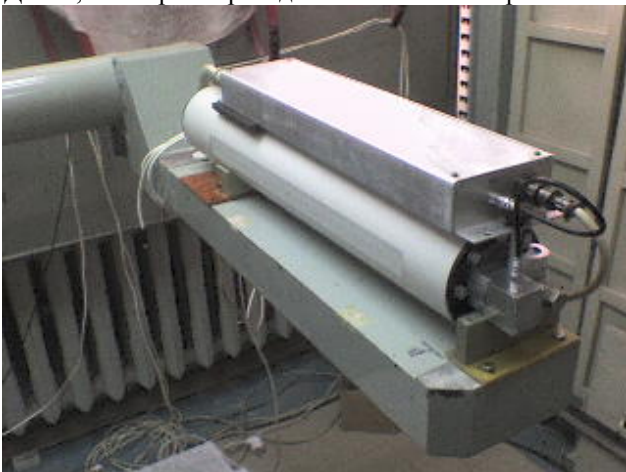


Рис. 9.2.1. Детектор Д2048.

Характеристики детектора (пространственное разрешение, контрастная чувствительность, DQE, дозы облучения и др.), полученные в результате измерений, полностью согласуются с расчетными, сделанными при разработке.

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

В 2012 году была разработана и реализована технология изготовления нового линейного детектора для системы рентгеновского контроля СРК. По сравнению с разработанным ранее и изготавливаемым в

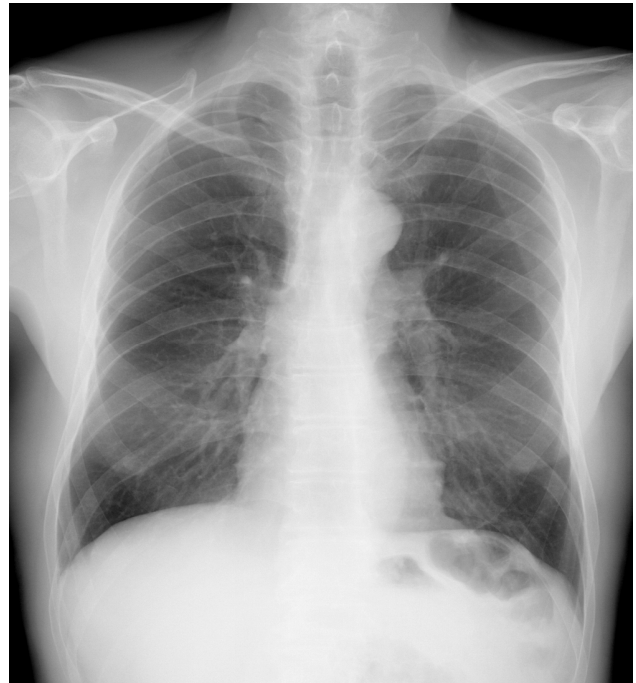


Рис. 9.2.2. Рентгеновский снимок легких, сделанный с детектором Д2048.

ИЯФ детектором Д768 новый детектор Д512 позволяет снизить дозы облучения при досмотре более чем в 2 раза. Детектор Д512 существенно превосходит Д768 в технологичности производства. Для применения детектора Д512 в составе установки СРК разработано новое программное обеспечение. Установки СРК, оснащенные детектором Д512, установлены в нескольких аэропортах России. В ИЯФ налажено мелкосерийное производство детекторов Д512.

Проведено детальное сравнение характеристик детектора Д512 с сцинтилляционным детектором аналогичного назначения, произведенным в Институте прикладной физики, в котором использованы люминофор $\{Gd_2O_2S:Tb\}$, сцинтиллятор $\{CsJ:Tl\}$, а свет регистрируется с помощью фотодиодов. Пространственное разрешение и контрастная чувствительность обоих детекторов оказались примерно одинаковыми. Сцинтилляционный детектор является более технологичным в изготовлении, чем газовый детектор Д512, но имеет более низкую эффективность регистрации гамма-квантов и уступает ему по радиационной стойкости, что приводит к более короткому времени жизни детектора.

Всего за 2012 год было изготовлено и поставлено потребителям следующее количество детекторов: Д1536 - 5 штук, Д2048 - 1 штука, Д768 - 4 штуки, Д572 - 12 штук.

БИБЛИОГРАФИЯ

Список публикаций

- [1] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. A search for t anti t resonances with the ATLAS detector in 2.05 fb^{-1} of proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N7. - p.2083 (23 p.).
- [2] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Electron performance measurements with the ATLAS detector using the 2010 LHC proton-proton collision data. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N3. - p.1909 (46 p.).
- [3] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of charged particle multiplicities in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ in the forward region. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N4. - p.1947 (14 p.).
- [4] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of Υ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N6. - p.2025 (12 p.).
- [5] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of $\psi(2S)$ meson production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N8. - p.2100 (12 p.).
- [6] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of relative branching fractions of B decays to $\psi(2S)$ and J/ψ mesons. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N8. - p.2118 (9p.).
- [7] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 t anti t production with a veto on additional central jet activity in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ using the ATLAS detector. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N6. - p.2043 (24 p.).
- [8] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 τ polarization in $W \rightarrow \tau \nu$ decays with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N7. - p.2062 (21 p.).
- [9] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 polarisation of W bosons produced with large transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS experiment. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N5. - p.2001 (30 p.).
- [10] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 mass with the template method in the t anti $t \rightarrow \text{lepton} + \text{jets}$ channel using ATLAS data. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N6. - p.2046 (30 p.).
- [11] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 charge asymmetry in top quark pair production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ using the ATLAS. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N6. - p.2039 (27 p.).
- [12] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Opposite-side flavour tagging of B mesons at the LHCb experiment. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N6. - p.2022 (16 p.).
- [13] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with ATLAS. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N1. - p.1844 (35 p.).
- [14] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 the

- ATLAS trigger system in 2010. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N1. - p.1849 (61 p.).
- [15] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Rapidity gap cross sections measured with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N3. - p.1926 (31 p.).
- [16] ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 fermiophobic Higgs boson in the diphoton decay channel with the ATLAS detector. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N9. - p.2157 (18 p.).
- [17] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 anomaly-mediated supersymmetry breaking with the ATLAS detector based on a disappearing-track signature in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N4. - p.1993 (20 p.).
- [18] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 decays of stopped, long-lived particles from 7 TeV pp collisions with the ATLAS detector. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N4. - p.1965 (21 p.).
- [19] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 neutrinos and right-handed W bosons in events with two leptons and jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N7. - p.2056 (22 p.).
- [20] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 lepton flavour violation in the e mu continuum with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions at the LHC. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N6. - p.2040 (19 p.).
- [21] ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 second generation scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N9. - p.2151 (26 p.).
- [22] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y., et al. Transverse sphericity of primary charged particles in minimum bias proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 0.9, 2.76$ and 7 TeV. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72, N9. - p.2124 (16 p.).
- [23] Ivanyushenkov Y., Abliz M., Boerste K., Buffington T., Doose C., Fuerst J., Hasse Q., Kasa M., Kim S.H., Kustom R.L., Lev V., Mezentsev N.A., Moog E.R., Skidopoulos D., Syrovatin V., Tsukanov V., Trakhtenberg E.M., Vasserman I.B., Xu J. Development of a planar superconducting undulator for the advanced photon source. // *IEEE T. Appl. Supercon.* - 2012. - V.22, N3. - p.4100804-1-4.
- [24] Muehle C., Gurov D., Khavin N., Kolokolnikov Yu., Moritz G., Utkin A., Vobly P., Will Ch., Winkler M. Radiation resistant prototype dipole for the first stage of super-FRS. // *IEEE T. Appl. Supercon.* - 2012. - V.22, N3. - p.4003304-1-4.
- [25] Acosta G., Avilov M., Bermudez J., Blinov V.E., Logatchev P., Shiyankov S., Tecchio L.B., Udup E., Zaitsev V. A safety device for the neutron converter of the SPIRAL2 project. // *Nucl. Instrum. Meth. A.* - 2012. - V.684. - p.1-6.
- [26] Pinfeld J., Maslennikov A., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu., et al. Evaluation of the local hadronic calibration with combined beam-test data for the endcap and forward calorimeters of ATLAS in the pseudorapidity region $2.5 < \eta < 4.0$. // *Nucl. Instrum. Meth. A.* - 2012. - V.693. - p.74-97.
- [27] Glatte A., Bedareva T., Grekhov A., Maslennikov A., Peleganchuk S., Pivovarov S., Snopkov R., Starostin A., Talyshev A., Tikhonov Y., et al. Liquid argon calorimeter performance at high rates. // *Nucl. Instrum. Meth. A.* - 2012. - V.669. - p.47-65.
- [28] Zhmurikov E.I., Savchenko I.V., Stankus S.V., Yatsuk O.S., Tecchio L.B. Measurements of the thermophysical properties of graphite composites for a neutron target converter. // *Nucl. Instrum. Meth. A.* - 2012. - V.674. - p.79-84.
- [29] Tuszewski M., Smirnov A., Thompson M.C., Akhmetov T., Ivanov A., Voskoboinikov R., et al. A new high performance field reversed configuration operating regime in the C-2 device. // *Physics of Plasmas.* - 2012. - V.19, N5. - p.056108-1-8.

- [30] Shalashov A.G., Gospodchikov E.D., Smolyakova O.B., Bagryansky P.A., Malugin V.I., Thumm M. Auxiliary ECR heating system for the gas dynamic trap. // *Physics of Plasmas*. - 2012. - V.19, N5. - p.052503-1-8.
- [31] Lotov K.V. Controlled self-modulation of high energy beams in a plasma. // *Physics of Plasmas*. - 2012. - V.18, N3. - p.024501-1.
- [32] Bagulov D.S., Kotelnikov I.A. Electron cyclotron resonance near the axis of the gas-dynamic trap. // *Physics of Plasmas*. - 2012. - V.19, N8. - p.082502-1-8.
- [33] Tsidulko Yu.A., Helsabeck T.J., O'Neil T.M. Particle fluxes through the separatrix in the trapped particle diocotron mode. // *Physics of Plasmas*. - 2012. - N8. - p.084505-1-4.
- [34] Caldwell A., Lotov K. Plasma wakefield acceleration with a modulated proton bunch. // *Physics of Plasmas*. - 2012. - V.18, N10. - p.103101-1-9.
- [35] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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., 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. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.708, N3/5. - p.221.
- [36] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. A model-independent Dalitz plot analysis of $B^{\pm} \rightarrow DK^{\pm}$ with $D \rightarrow K^0_s h^+h^-$ ($h = \pi, K$) decays and constraints on the CKM angle γ . // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.718, N1. - p.43-55.
- [37] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Combined search for Standard Model Higgs boson using up to 4.9 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector at the LHC. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.710, N1. - p.49-66.
- [38] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Erratum to: "Search for first generation scalar leptiquarks in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector". // [*Phys. Lett. B* 709 (2012) 158]. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.711, N5. - p.442-455.
- [39] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Evidence for the associated production of a W boson and a top quark in ATLAS at $\sqrt{s}=7$ TeV. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.716, N1. - p.142-159.
- [40] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. First observation of the decay $B^0_s \rightarrow K^{*0} \bar{K}^{*0}$. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.709, N1/2. - p.50-58.
- [41] Khriplovich I.B. Gravitational four-fermion interaction on the Planck scale. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.709, N3. - p.111-113.
- [42] Pestov Y., ALICE Collab., et al. Hadronic decomposition of two particle angular correlations in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.708, N3/5. - p.249-264.
- [43] Pestov Y., ALICE Collab., et al. Heavy flavour decay muon production at forward rapidity in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.708, N3/5. - p.265-275.
- [44] Pestov Y., ALICE Collab., et al. J/ψ production as a function of charged particle multiplicity in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.712, N3. - p.165-175.
- [45] Pestov Y., ALICE Collab., et al. K^0_s/K^0 correlations in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV from the LHC ALICE experiment. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.717, N1/3. - p.151-161.
- [46] Pestov Y., ALICE Collab., et al. Light vector meson production in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.710, N4/5. - p.557-568.
- [47] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of b-hadron masses. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.708, N3/5. - p.241-248.
- [48] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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., et al. Measurement of cross-section for b-jets produced in association with a Z boson at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Lett. B*. - 2012. - V.706, N4/5. - p.295-313.
- [49] 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., Buzyaev A.R., Eidelman S.I., Grigoriev D.N., Glukhovchenko Yu.M., Gulevich V.V., Gusev D.V., Karnev 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., 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.Y., 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., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skrinsky A.N., Smalyuk V.V., Sokolov A.V., Soukharev 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.V., Zhuravlev A.N. (KEDR Collab.). Measurement of main parameters of the $\psi(2S)$ resonance. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.711, N3/4. - p.280-291. [<http://arxiv.org/pdf/1109.4215v2.pdf>].

[50] 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., 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.Y., 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., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skrinsky A.N., Smalyuk V.V., Sokolov A.V., Soukharev 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.V., Zhuravlev A.N. (KEDR Collab.). Measurement of $\psi(3770)$ parameters. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.711, N3/4. - p.292-300. [arXiv:1109.4205 [hep-ex]].

[51] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of the $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ oscillation frequency Δm_s in $B_s^0 \rightarrow D_s^- 3\pi$ decays. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.709, N3. - p.177-184.

[52] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of the $B_s^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$ branching fraction. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.713, N3. - p.172-179.

[53] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of the centrality dependence of the charged particle pseudorapidity distribution in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.710, N3. - p.363-382.

[54] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of the CP violating phase ϕ_s in anti $B_s^0 \rightarrow J/\psi f(980)$. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.707, N5. - p.497.

[55] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of the CP-violating phase ϕ_3 in anti $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+\pi^-$ decays. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.713, N4/5. - p.378-386.

[56] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. 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. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.707, N5. - p.418-437.

[57] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of the cross section ratio $\sigma_{\chi_c2}/\sigma_{\chi_c1}$ for prompt χ_c production at $\sqrt{s}=7$ TeV. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.714, N2/5. - p.215-223.

[58] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of the $D_s^+ - D_s^-$ production asymmetry in 7 TeV pp collisions. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.713, N3. - p.186.

[59] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of the effective $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$ lifetime. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.707, N3/4. - p.349.

[60] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of the effective $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$ lifetime. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.716, N2. - p.393-400.

[61] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of the effective $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$ lifetime. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.716, N3/5. - p.393-400.

[62] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of the polarization amplitudes and triple product asymmetries in the $B_s^0 \rightarrow \phi\phi$ decay. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.713, N4/5. - p.369-377.

- [63] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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., 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. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.707, N3/4. - p.330-348.
- [64] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of the t-channel single top-quark production cross section in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.717, N4/5. - p.330-350.
- [65] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of the top quark pair cross section with ATLAS in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV using final states with an electron or a muon and a hadronically decaying tau lepton. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.717, N1/3. - p.89.
- [66] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of the top quark pair production cross section in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV in dilepton final states with ATLAS. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.707, N5. - p.459-477.
- [67] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of the top quark pair production cross-section with ATLAS in the single lepton channel. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.711, N3/4. - p.244-263.
- [68] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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., et al. Measurement of the $W \rightarrow \tau \nu$ cross section in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS experiment. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.706, N4/5. - p.276-294.
- [69] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of the WW cross section in $\sqrt{s}=7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector and limits on anomalous gauge couplings. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.712, N4/5. - p.289-308.
- [70] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of the W+Z production cross section and limits on anomalous triple gauge couplings in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.709, N4/5. - p.341-357.
- [71] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of $W\gamma$ and $Z\gamma$ production cross sections in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV and limits on anomalous triple gauge couplings with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.717, N1/3. - p.49-69.
- [72] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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., et al. Measurements of the electron and muon inclusive cross-sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.707, N5. - p.438-458.
- [73] Pestov Y., ALICE Collab., et al. Multi-strange baryon production in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with ALICE. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.712, N4/5. - p.309.
- [74] Pestov Y., ALICE Collab., et al. Neutral pion and eta meson production in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=0.9$ TeV and $\sqrt{s}=7$ TeV. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.717, N1/3. - p.162-172.
- [75] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Obser-

vation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.716, N1. - p.1-29.

[76] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Kudryavtsev V., Poluektov A., et al. Observation of CP violation in $B^+ \rightarrow DK^+$ decays. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.712, N3. - p.203-212.

[77] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Observation of J/ψ pair production in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.707, N1. - p.52.

[78] Ablikim M., BESSIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., et al. Precision measurement of the branching fractions of $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ and $\psi' \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.710, N4/5. - p.584-599. [arXiv:1202.2048 [hep-ex].

[79] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. 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. - 2012. - V.709, N3. - p.137-157.

[80] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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., et al. Search for a heavy Standard Model Higgs boson in the channel $H \rightarrow ZZ \rightarrow l+l- q \text{ anti } q$ using the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.707, N1. - p.27 - 45. - Bibliogr. : 52 ref.

[81] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 Standard Model Higgs boson in the $H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+ l^- \nu \bar{\nu}$ decay channel using 4.7 fb^{-1} of $\sqrt{s}=7$ TeV data with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.717, N1/3. - p.29-48.

[82] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 contact interactions in dilepton events from pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.712, N1/2. - p.40-58.

[83] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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., et al. Search for diphoton events with large missing transverse momentum in 1 fb^{-1} of 7 TeV proton-proton collision data with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.710, N4/5. - p.519-537.

[84] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 displaced vertices arising from decays of new heavy particles in 7 TeV pp collisions at ATLAS. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.707, N5. - p.478-496.

[85] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 events with large missing transverse momentum, jets, and at least two tau leptons in 7 TeV proton-proton collision data with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.714, N2/5. - p.180-196.

[86] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 extra dimensions using diphoton events in 7 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.710, N4/5. - p.538-556.

[87] Akimov A.V., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 FCNC single-top-quark production at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.712, N4/5. - p.351-369.

[88] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 first generation scalar leptoquarks in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.709, N3. - p.158-176.

[89] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.,

- Kazanin V.F., 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 heavy vector-like quarks coupling to light quarks in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.712, N1/2. - p.22.
- [90] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 new particles decaying to ZZ using final states with leptons and jets with the ATLAS detector in $\sqrt{s}=7$ TeV proton-proton collisions. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.712, N4/5. - p.331-350.
- [91] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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., 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. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.708, N1/2. - p.37-54.
- [92] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 scalar top quark pair production in natural gauge mediated supersymmetry models with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.715, N1/3. - p.44-60.
- [93] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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., et al. 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. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.710, N1. - p.67-85.
- [94] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 Standard Model Higgs boson in the mass range 200 - 600 GeV in the $H \rightarrow ZZ \rightarrow l+l-q \text{ anti } q$ decay channel with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.717, N1/3. - p.70-88.
- [95] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 strong gravity signatures in same-sign dimuon final states using the ATLAS detector at the LHC. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.709, N4/5. - p.322-340.
- [96] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 with jets, missing transverse momentum and at least one hadronically decaying tau lepton in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.714, N2/5. - p.197.
- [97] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 TeV-scale gravity signatures in final states with leptons and jets with the ATLAS detector at $\sqrt{s}=7$ TeV. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.716, N1. - p.122-141.
- [98] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 the decay $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ with the ATLAS detector. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.713, N4/5. - p.387-407.
- [99] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Search for the rare decays $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ and $B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.708, N1/2. - p.55-67.
- [100] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 the Standard Model Higgs boson in the decay channel $H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4l$ with 4.8 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s}=7$ TeV with ATLAS. // Phys. Lett. B. - 2012. - V.710, N3. - p.383 - 402.
- [101] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 the Standard Model Higgs boson in the $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l \nu l \nu$ decay mode with 4.7 fb^{-1} of ATLAS data at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$. // *Phys. Lett. B.* - 2012. - V.716, N1. - p.62-81.
- [102] Piazza A.Di, Milstein A.I. Angular distribution of high-energy e^+e^- photoproduction close to the end of the spectrum at large momentum transfer. // *Phys. Rev. A.* - 2012. - V.85, N4. - p.042107-1-6.
- [103] Lee R.N., Milshtein A.I., Strakhovenko V.M. Charge asymmetry in the differential cross section of high-energy e^+e^- photoproduction in the field of a heavy atom. // *Phys. Rev. A.* - 2012. - V.85, N4. - p.042104-1-11.
- [104] Lee R.N., Milstein A.I., Terekhov I.S. Quasilocalized states in a electron-electron interaction in graphene. // *Phys. Rev. B.* - 2012. - V.86, N3. - p.035425-1-9.
- [105] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 azimuthal anisotropy for charged particle production in $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$ lead-lead collisions with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. C.* - 2012. - V.86, N1. - p.014907-1-41.
- [106] 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. Amplitude analysis and measurement of the time-dependent CP asymmetry of $B^0 \rightarrow K_s^0 K_s^0 K_s^0$ decays. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N5. - p.054023-1-21.
- [107] 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. B^0 meson decays to $\rho^0 K^{*0}$, $f_0 K^{*0}$ and $\rho^0 K^{*+}$, including higher K^* resonances. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N7. - p.072005-1-16.
- [108] Aihara H., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krovovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shwartz B., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. First measurement of φ_3 with a model-independent dalitz plot analysis of $B^{\pm} B^{\mp} \rightarrow D K^0, D \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ decay. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N11. - p.112014-1-17.
- [109] 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. Initial-state radiation measurement of the $e^+e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$ cross section. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N11. - p.112009-1-17.
- [110] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. K_s^0 and Lambda production in pp interactions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV measured with the ATLAS detector at the LHC. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N1. - p.012001-1-28.
- [111] Aaji R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of b hadron production fractions in 7 TeV pp collisions. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N3. - p.032008-1-16.
- [112] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 D^{*+} meson production in jets from pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N5. - p.052005-1-22.
- [113] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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/γ^* cross sections in the e and mu decay channels in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N7. - p.072004-1-39.
- [114] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 isolated diphoton cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N1. - p.012003-1-28.
- [115] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 production cross section for Z/γ^* in association with jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N3. - p.032009-1-42.
- [116] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 production cross section of an isolated photon associated with jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N9. - p.092014-1-30.
- [117] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of the ratio of branching fractions $B(B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma) / (B(B_s^0 \rightarrow \phi \gamma))$. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N11. - p.112013-1-8.
- [118] 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 semileptonic branching fraction of the B_s meson. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N1. - p.011101-1-9.
- [119] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N1. - p.012005-1-30.
- [120] Rohrken M., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Poluektov A., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Measurements of branching fractions and time-dependent CP violating asymmetries in $B^0 \rightarrow D^{*\pm} D^\mp$ decays. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N9. - p.091106-1-7.
- [121] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurements of the branching fractions and CP asymmetries of $B^+ \rightarrow J/\psi \pi^+$ and $B^+ \rightarrow \psi(2S) \pi^+$ decays. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N9. - p.091105-1-8.
- [122] 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., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Observation and study of the baryonic B-meson decays $B \rightarrow D/sab (*) / p$ anti $p(\pi)(\pi)$. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N9. - p.092017-1-21.
- [123] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Searches for Majorana neutrinos in B^- decays. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N11. - p.112004-1-13.
- [124] Ablikim M., BESSIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., et al. Search for a light exotic particle in J/ψ radiative decays. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N9. - p.092012-1-7. [arXiv:1111.2112 [hep-ex].
- [125] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 anomalous production of prompt like-sign muon pairs and constraints on physics beyond the standard model with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N3. - p.032004-1-23.
- [126] 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 anti $B \rightarrow \text{Lambda}^+ / \text{sub } c / \text{XI}$ anti $\text{nu} / \text{sub } l$ decays in events with a full reconstructed B meson. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N1. - p.011102-1-8.
- [127] 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 in the $\text{tau}^- \rightarrow \text{pi}^- K^0 / \text{sub } s (\geq 0 \text{ pi}^0) \text{nu} / \text{sub } \text{tau}^-$. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N3. - p.031102-1-8.
- [128] Shen C.P., Belle Collab., Arinstein K., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Search for double charmonium decays of the P-wave spin-triplet bottomonium states. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N7. - p.071102-1-7.
- [129] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 excited leptons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N7. - p.072003-1-23.
- [130] 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 lepton-number violating processes in $B^+ \rightarrow h^- l^+ l^+$ decays. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - V.85, N7. - p.071103-1-8.
- [131] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 resonant WZ production in the $WZ \rightarrow l \text{ nu } l' l'$ channel in $\sqrt{s} = 7$

TeV pp collisions with the ATLAS detector. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.85, N11. - p.112012-1-21.

[132] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 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. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.85, N1. - p.012006-1-30.

[133] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 supersymmetry in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV in final states with missing transverse momentum and b-jets with the ATLAS detector. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.85, N11. - p.112006-1-29.

[134] 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., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Search for the decay $D^0 \rightarrow \gamma\gamma$ and measurement of the branching fraction for $D^0 \rightarrow \pi^0\pi^0$. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.85, N9. - p.091107-1-8.

[135] Aaij R., LHCb Collab., Filippov S., Gushchin E., Kravchuk L., Mazurov A., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Search for the X(4140) state in $B^+ \rightarrow J/\psi\phi K^+$ decays. // Phys. Rev. D.2012. - V.85, N9. - p.091103-1-7.

[136] 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 the $Z/\text{sub } 1/(4050)^+$ and $Z/\text{sub } 2/(4250)^+$ states in anti $B^0 \rightarrow \text{Chi}/\text{sub } c1/K\text{-pi}^+$ and $B^+ \rightarrow \text{Chi}/\text{sub } c1/K^0/\text{sub } s/\text{pi}^+$. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.85, N5. - p.052003-1-12.

[137] Higuchi T., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Search for time-dependent CPT violation in hadronic and semileptonic B decays. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.85, N7. - p.071105-1-7.

[138] 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., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Study of CP violation in Dalitz-plot analyses of $B^0 \rightarrow K+K\text{-}K^0/\text{sub } s/$, $B^+ \rightarrow K+K\text{-}K^+$, and $B^+ \rightarrow K^0/\text{sub } s/$

$K^0/\text{sub } s/ K^+$. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.85, N11. - p.112010-1-31.

[139] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Study of jets produced in association with a W boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.85, N9. - p.092002-1-40.

[140] Ablikim M., BESSIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., et al. Two-photon widths of the $\text{Chi}/\text{sub } c0,2/$ states and helicity analysis for $\text{Chi}/\text{sub } c2/ \rightarrow \text{gamma gamma}$. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.85, N11. - p.112008-1-10. [arXiv:1205.4284 [hep-ex].

[141] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Determination of the sign of the decay width difference in the B_s^0 system. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N24. - p.241801-1-7.

[142] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Determination of the strange-quark density of the proton from ATLAS measurements of the $W \rightarrow l\nu$ and $Z \rightarrow ll$ cross sections. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.109, N1. - p.012001-1-17.

[143] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Differential branching fraction and angular analysis of the decay $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N18. - p.181806-1-8 [.

[144] Ko B.R., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Sibidanov A., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Erratum: Evidence for CP violation in the decay $D^+ \rightarrow K_s^0 \pi^+$. [Phys. Rev. Lett. 109, 021601 (2012)]. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.109, N11. - p.119903-1-2.

[145] 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 an excess of anti $B \rightarrow D^*(\tau)$ anti ν_τ decays. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.109, N10. - p.101802-1-8.

[146] Ko B.R., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Evidence for CP violation in the decay

- $D^+ \rightarrow K_s^0 \pi^+$. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.109, N2. - p.021601-1-6.
- [147] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Evidence for CP violation in time-integrated $D^0 \rightarrow h^- h^+$ decay rates. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N11. - p.111602-1-8.
- [148] Hoi C.-T., Belle Collab., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Matvienko D., Shebalin V., Zhilich V., et al. Evidence for direct CP violation in $B^\pm \rightarrow \eta h^\pm$ and observation of $B^0 \eta K^0$. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N3. - p.031801-1-6.
- [149] Tuszewski M., TAE Team, Akhmetov T., Ivanov A., Voskoboinikov R., et al. Field reversed configuration confinement enhancement through edge biasing and neutral beam injection. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N25. - p.255008-1-5.
- [150] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. First evidence of direct CP violation in charmless two-body decays of B_s mesons. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N20. - p.201601-1-8.
- [151] Li J., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Eidelman S., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., et al. First observation of $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta$ and $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta'$. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N18. - p.181808-1-5.
- [152] Ablikim M., BESSIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., et al. First observation of η (1405) decays into f_0 (980) π^0 . // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N18. - p.182001-1-6. [arXiv:1201.2737 [hep-ex].
- [153] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. First observation of the decay $B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- \pi^+$. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N25. - p.251802-1-7.
- [154] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. First observation of the decays $\text{anti } B^0 \rightarrow D^+ K^- \pi^+ \pi^-$ and $B^- \rightarrow D^0 K^- \pi^+ \pi^-$. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N16. - p.161801-1-8.
- [155] Ablikim M., BESSIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., et al. First observation of the M1 transition ψ (3686) $\rightarrow \gamma \eta_c$ (2S). // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N3. - p.042003-1-7. [arXiv:1205.5103 [hep-ex].
- [156] Adachi I., Belle Collab., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., et al. First observation of the P-wave spin-singlet bottomonium states h_b (1P) and h_b (2P). // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N3. - p.032001-1-6.
- [157] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y., et al. J/ψ polarization in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N8. - p.082001-1-0.
- [158] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y., et al. J/ψ suppression at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.109, N7. - p.072301-1-11.
- [159] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of the anti B_s^0 effective lifetime in the $J/\psi f_0$ (980) final state. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.109, N15. - p.152002-1-8.
- [160] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Shekhtman L., et al. Measurement of the CP-violating phase φ_s in the decay $B_s^0 \rightarrow J/\psi \varphi$. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N10. - p.101803-1-8.
- [161] Sato Y., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Poluektov A., Shwartz B., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Measurement of the CP-violation parameter $\sin 2\varphi^1$ with a new tagging method at the $\Upsilon(5S)$ resonance. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N17. - p.171801-1-6.
- [162] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Kazanin V.F., 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. Measurement of the ZZ production cross section and limits on anomalous neutral triple gauge couplings in proton-proton collisions at. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N4. - p.041804-1-18.
- [163] Ablikim M., BESSIII Collab., Achasov M.N., Nikolaev I.B., Muchnoi N.Yu., et al. Measurements of the mass and width of the η_c using the decay ψ (3686) $\rightarrow \gamma \eta_c$. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N22. - p.222002-1-7. arXiv:1111.0398 [hep-ex].
- [164] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Observation of a new χ_b state in radiative transitions to $\Upsilon(1S)$ and $\Upsilon(2S)$ at ATLAS. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N15. - p.152001-1-17.
- [165] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Observation of anti $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_2'$ (1525) in $J/\psi K^+ K^-$ final states. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.108, N15. - p.151801-1-7.
- [166] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Observation of $B^0 \rightarrow \text{anti } D^0 K^+ K^-$ and evidence for $B_s^0 \rightarrow \text{anti } D^0 K^+ K^-$. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.109, N13. - p.131801-1-8.

- [167] Liu Z.Q., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Observation of new resonant structures in $\gamma\gamma \rightarrow \omega\phi$, $\phi\phi$, and $\omega\omega$. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N23. - p.232001-1-7.
- [168] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Observation of spin correlation in t anti t events from pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV using the ATLAS detector. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N21. - p.212001-1-19.
- [169] Bondar A., Garmash A., Arinstein K., Epifanov D., Gabyshev N., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., Belle Collab., et al. Observation of two charged bottomonium-like resonances in $Y(5S)$ decays. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N12. - p.122001-1-6.
- [170] Adachi I., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zyukova O., et al. Precise measurement of the CP violation parameter $\sin 2\phi^1$ in $B^0 \rightarrow (c \text{ anti } c) K^0$ decays. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N17. - p.171802-1-6.
- [171] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y., et al. Production of muons from heavy flavor decays at forward rapidity in pp and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.109, N11. - p.112301-1-11.
- [172] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 light Higgs boson decaying to long-lived weakly interacting particles in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N25. - p.251801-1-18.
- [173] Staric M., Belle Collab., Arinstein K., Eidelman S., Gabyshev N., Shebalin V., Shwartz B., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Search for CP violation in D meson decays to $\phi\pi^+$. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N7. - p.071801-1-6.
- [174] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 down-type fourth generation quarks with the ATLAS detector in events with one lepton and hadronically decaying W bosons. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.109, N3. - p.032001-1-19.
- [175] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 gluinos in events with two same-sign leptons, jets, and missing transverse momentum with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N24. - p.241802-1-19.
- [176] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Search for lepton number violating decays $B^+ \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^+$ and $B^+ \rightarrow K^- \mu^+ \mu^+$. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N10. - p.101601.
- [177] 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 low-mass dark-sector Higgs bosons. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N21. - p.211801-1-7.
- [178] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 t anti t events with large missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N4. - p.041805-1-18.
- [179] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 a heavy up-type quark decaying to a W boson and a b quark in the lepton + jets channel with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N26. - p.261802-1-18.
- [180] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 pair production of a new b' quark that decays into a Z boson and a bottom quark with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.109, N7. - p.071801-1-19.
- [181] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.,

- Kazanin V.F., 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 production of resonant states in the photon-jet mass distribution using pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV collected by the ATLAS detector. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N21. - p.211802-1-18.
- [182] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 scalar bottom quark pair production with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N18. - p.181802-1-18.
- [183] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 supersymmetry in events with three leptons and missing transverse momentum in $\sqrt{s}=7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N26. - p.261804-1-18.
- [184] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 t b resonances in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with ATLAS detector. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.109, N8. - p.081801-1-19.
- [185] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Search for the Higgs boson in the $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l^+ \nu l^- \text{anti } \nu$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N11. - p.111802-1-19.
- [186] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Search for the standart model Higgs boson in the diphoton decay channel with 4.9 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s}=7$ TeV with ATLAS. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N11. - p.111803-1-19.
- [187] Ablikim M., BESSIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., et al. Spin-parity analysis of p anti p mass threshold structure in J/ψ and $\psi(3686)$ radiative decays. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N11. - p.112003-1-6. [arXiv:1112.0942 [hep-ex].
- [188] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Strong constraints on the rare decays $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ and $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.108, N23. - p.231801-1-8.
- [189] Arzhannikov A.V., Timofeev I.V. Generation of powerful terahertz emission in a beam-driven strong plasma turbulence. // *Plasma Physics and Controlled Fusion.* - 2012. - V.54, N10. - p.105004 (6 p.).
- [190] Reusch J.A., Anderson J.K., Belykh V., Eilerman S., Liu D., Fiksel G., Polosatkin S. Calibration of an advanced neutral particle analyzer for the Madison Symmetric Torus reversed-field pinch. // *Rev. Sci. Instrum.* - 2012. - V.83, N10. - p.10D704-1-3.
- [191] Deichuli P., Davydenko V., Belov V., Gorbovsky A., Dranichnikov A., Ivanov A., Sorokin A., Mishagin V., Abdrashitov A., Kolmogorov V., Kondakov A. Commissioning of heating neutral beams for COMPASS-D tokamak. // *Rev. Sci. Instrum.* - 2012. - V.83, N2, Pt.2. - p.02B114 (3 p.).
- [192] Kondrashev S., Dickerson C., Levand A., Ostroumov P.N., Pardo R.C., Savard G., Vondrasek R., Alessi J., Beebe E., Pikin A., Kuznetsov G.I., Batazova M.A. Development of electron beam ion source charge breeder for rare isotopes at Californium Rare Isotope Breeder Upgrade. // *Rev. Sci. Instrum.* - 2012. - V.83, N2, Pt.2. - p.02A902 (3 p.).
- [193] Hampel U., Bartling Y., Hoppe D., Kuksanov N., Fadeev S., Salimov R. Feasibility study for mega-electron-volt electron beam tomography. // *Rev. Sci. Instrum.* - 2012. - V.83, N9. - p.093707-1-7.
- [194] Dreier H., Bagryansky P., Baumgarten N., Beil 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.* - 2012. - V.82, N6. - p.063509-1-4.
- [195] Izotov I.V., Razin S.V., Sidorov A.V., Skalyga V.A., Zorin V.G., Bagryansky P.A., Beklemishev A.D., Prikhodko V.V. Influence of the shear flow on electron cyclotron resonance plasma confinement in an axisymmetric magnetic mirror trap of the electron cyclotron resonance ion source. // *Rev. Sci. Instrum.* - 2012. - V.82, N2, Pt.2. - p.02A318 (3p.).
- [196] Pikin A., Alessi J., Beebe E., Kponou A., Okamura M., Raparia D., Ritter J., Tan Y., Kuznetsov G. Ion optics of RHIC electron beam ion source. // *Rev. Sci. Instrum.* - 2012. - V.83, N2. - p.02A504-1-3.
- [197] Korepanov S., Smirnov A., Clary R., Dettrick S., Deichuli P., Kondakov A., Murakhtin S. Modulated active charge exchange fast ion diagnostic for the C-2 field-reversed configuration experiment. // *Rev. Sci. Instrum.* - 2012. - V.83, N10. - p.10D720-1-3.

- [198] 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.* - 2012. - V.82, N8. - p.086105-1-3.
- [199] Dudnikov V., Dudnikov A. Radio frequency discharge with control of plasma potential distribution. // *Rev. Sci. Instrum.* - 2012. - V.83, N2, Pt.2. - p.02A720 (3p.).
- [200] Knyazev B.A., An W., Bluhm H. Stark spectroscopy of a probe lithium beam excited with two dye lasers as a technique to study a high-power ion-beam diode. // *Rev. Sci. Instrum.* - 2012. - V.83, N3. - p.033101-1-9.
- [201] Listopad A., Coenen J., Davydenko V., Ivanov A., Mishagin V., Savkin V., Schweer B., Shulzhenko G., Uhlemann R. Use of the focusing multi-slit ion optical system at Russian Diagnostic Injector (RUDI). // *Rev. Sci. Instrum.* - 2012. - V.83, N2, Pt.2. - p.02B707 (3 p.).
- [202] 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. // *Problems of Atomic Science and Technology.* - 2012. - Vol.79, N3. - p.188-190.
- [203] Lotov K.V., Maslov V.I., Onishchenko I.N., Svistun O.M. Homogeneous focusing of electron bunch sequence by plasma wakefield. // *Problems of Atomic Science and Technology. Ser.: Nuclear Physics Investigations.* - 2012. - Vol.3, N3. - p.159-163.
- [204] 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. // *ВАНТ. Сер. Ядер.-физ. исследования.* - 2012. - N3. - p.49-52.
- [205] Гуров С.М., Акимов А.В., Анчугов О.В., Батраков А.М., Беликов О.В., Бехтенов Е.А., Горчаков К.М., Дубровин А.Н., Ерохин А.И., Жиркова А.А., Карнаев С.Е., Карпов Г.В., Киселев В.А., Кобец В.В., Колмогоров В.В., Константинов В.М., А.А.Корепанов, Кузьминых В.С., Купер Э.А., Левичев Е.Б., Мамкин В.Р., Медведко А.С., Мешков О.И., Нейфельд В.В., Нефедов Н.Б., Окунев И.Н., Петриченко М.В., Петров В.В., Полянский А.В., Пурескин Д.Н., Рахимов А.Р., Рувинский С.И., Рыбицкая Т.В., Семенов А.М., Сеньков Д.В., Середняков С.С., Синяткин С.В., Смалюк В.В., Суханов А.В., Уткин А.В., Цуканова Л.А., Чеблаков П.Б., Черепанов В.П., Чернякин А.Д., Ческидов В.Г., Чуркин И.Н., Шведов Д.А., Шиянков С.В., Щеголев Л.М., Яминов К.Р., et al. Статус бустера NSLS-I. // *Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ).* - 2012. - N4(80). - p.3-6.
- [206] Черняк В.Л. Спектр масс в SQCD и проблемы с дуальностью Сайберга. Другой сценарий. *ЖЭТФ.* - 2012. - V.141, N1. - p.71-89. [*JETP.* 2012. - Vol.114. - p.61-79].
- [207] Долгов А.М., Руденко А.С., Хриплович И.Б., Разность вероятностей радиационных переходов в атомах и антиатомах. // *Письма в ЖЭТФ.* - 2012. - V.96, N7/8. - p.467-469.
- [208] Khriplovich I.B., Rudenko A.S. Can CP violation be observed in heavy-ion collisions? // *Ядерная физика.* - 2012. - V.75, N9. - p.1209-1211.
- [209] Кооп И.А., Шагунов Ю.М., Недорезов В.Г. Электрон-ионный коллайдер в центре ионных и антипротонных исследований FAIR (проект ELiSe). // *Атом. энергия.* - 2012. - T.112, N2. - С.91-98.
- [210] Авт.: коллеги. Памяти Эдуарда Павловича Круглякова (22.10.1934 - 6.11.2012). // *ВАНТ. Сер. Термоядер. синтез.* - 2012. - N4. - С.103-105.
- [211] Солдаткина Е.И., Багрянский П.А., Зайцев К.В., Иванов А.А., Лизунов А.А., Ложкина А.Н., Максимов В.В., Приходько В.В., Соломахин А.Л., Савкин В.Я., Трунев Ю.А., Шульженко Г.И. Первые эксперименты по инжекции электронного пучка в газодинамическую ловушку. // *ВАНТ. Сер. Термоядер. синтез.* - 2012. - N4. - С.14-22.
- [212] Анিকেев А.В., Багрянский П.А., Донин А.С., Зайцев К.В., Коржавина М.С., Лизунов А.А., Ложкина А.Н., Максимов В.В., Приходько В.В., Солдаткина Е.И., Соломахин А.Л. Эксперименты по амбиполярному удержанию плазмы в установке ГДЛ. // *ВАНТ. Сер. Термоядер. синтез.* - 2012. - N4. - С.3-13.
- [213] Голубенко Ю.И., Когут Д.А., Куксанов Н.К., Немытов П.И., Чакин И.В. Информационное измерительное сопровождение ускорителей электронов ELV и сопутствующего технологического оборудования. // *ВАНТ. Сер. Ядер.-физ. исследования.* - 2012. - N3. - С.211-214.
- [214] 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. // *ВАНТ. Сер. Ядер.-физ. исследования.* - 2012. - N3. - С.15-18.
- [215] Воробьев А.А., Иванов Е.М., Крившич А.Г., Рябов Г.А., Самсонов В.М., Селиверстов Д.М., Гавриш Ю.Н., Мудролобов В.Г., Строкач А.П., Востриков В.А., Левичев Е.Б., Тихонов Ю.А., Виноградов В.М., Герасимов С.В., Гранов А.М., Шалек Р.А., Ялыныч Н.Н. Центр протонной терапии Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова. // *ВАНТ. Сер. Ядер.-физ. исследования.* - 2012. - N4(80). - С.146-150.
- [216] Листопад А.А., Давыденко В.И., Иванов А.А., Мишагин В.В., Улеманн Р., Швейер Б. Многощелевая четырехэлектродная ионно-оптическая система для формирования диагностического пучка быстрых атомов. // *Вестн. НГУ. Сер. Физика.* - 2012. - T.7, N2. - С.15-24.
- [217] Балдин Е.М., Блинов В.Е., Зайцев А.С., Король А.А., Логашенко И.Б., Сухарев А.М.,

- Тальшев А.А., Тихонов Ю.А. Проект супер с тау-фабрики: требования к вычислительной инфраструктуре. // Вестн. НГУ. Сер. Физика. - 2012. - Т.7, N1, С.94-99.
- [218] Аржанников А.В., Гинзбург Н.С., Заславский В.Ю., Зотова И.В., Калинин П.В., Кузнецов С.А., Малкин А.М., Песков Н.Ю., Сергеев А.С., Сеницкий С.Л., Степанов В.Д., Тумм М. Разработка двухстадийного планарного МСЭ терагерцового диапазона на основе ускорителя ЭЛМИ. // Вестн. НГУ. Сер. Физика. - 2012. - Т.7, N1. - С.5-14.
- [219] Козак В.Р., Купер Э.А., Винокуров Н.А., Середняков С.С., Тарарышкин С.В., Трибендис А.Г., Селиванов П.А. Система управления Новосибирским лазером на свободных электронах. // Вестник НГУ. Сер. Физика. - 2012. - Т.7, N3. - С.24-33.
- [220] Бурдин П.Н., Девятайкина Т.А., Казанцева Э.С., Рыбичкая Т.В., Скарбо Б.А., Старостенко А.А., Цыганов А.С. Улучшение качества поля квадрупольных линз при серийном производстве. // Вестник НГУ. Сер. Физика. - 2012. - Т.7, N3. - С.34.
- [221] Аракчеев А.С., Лотов К.В. Аналитическая модель хрупкого разрушения на основе гипотезы масштабного подобия. // ЖЭТФ. - 2012. - Т.142, N2(8). - С.271-278; Journal of Experimental and Theoretical Physics. - 2012. - Vol.115, N2. - P.242-248.
- [222] Никитин С.А., Николаев И.Б. Расчет интенсивности тушековских электронов в накопителе ВЭПП-4М. // ЖЭТФ. - 2012. - Т.142, N1(7). - С.44-55. [http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/r_142_44.pdf].
- [223] Хализева М. Электронный холодильник для протонов. // Наука в России. - 2012. - N4. - С.32-34.
- [224] Тихонов Ю.А. В поисках начала всех начал. // Наука из первых рук. - 2012. - N3(45). - С.6-13.
- [225] Пархомчук В.В. История создания электронного охлаждения. // Наука из первых рук. - 2012. - N4. - С.46-57.
- [226] Блинов В.Е. Новая космология для старой Вселенной. // Наука из первых рук. - 2012. - N1(43). - С.16-19.
- [227] Шильцев В.Д., Нестеренко И.Н. "Фортуна вижу я в тебе или Венеру...". // Наука из первых рук. - 2012. - N3(45). - С.60-73.
- [228] Аржанников А.В., Гинзбург Н.С., Заславский В.Ю., Калинин П.В., Малкин А.М., Песков Н.Ю., Сергеев А.С., Сеницкий С.Л., Тумм М. Экспериментальное тестирование коротковолновых частотно-перестраиваемых брэгговских отражателей, основанных на связи распространяющихся и квазикритических волн. // Письма в ЖТФ. - 2012. - Т.38, N13. - С.8-16.
- [229] Пархомчук В.В. Открытые вопросы в электронном охлаждении. // Письма в ЭЧАЯ. - 2012. - Т.9, N4/5. - С.527 - 536.
- [230] Ахманова Е.В., Иванов А.В., Кобец А.Г., Кокуркин М.П., Лысов Н.Ю., Мешков И.Н., Пашин М.М., Пивин Р.В., Рудаков А.Ю., Смирнов А.В., Топилин Н.Д., Туманова Ю.А., Филиппов А.А., Шабунов А.В., Яковенко С.Л. Проект высоковольтной системы электронного охлаждения коллайдера NICA. // Письма в ЭЧАЯ. - 2012. - Т.9, N4/5. - С.597-603.
- [231] Востриков В.А., Киселев В.А., Левичев Е.Б., Пархомчук В.В., Рева В.Б., Сияткин С.В. Проект синхротрона с электронным охлаждением для терапии рака. // Письма в ЭЧАЯ. - 2012. - Т.9, N4/5. - С.700-705.
- [232] Пархомчук В.В., Растигеев С.А. Селекция ионов в ускорительном масс-спектрометре ИЯФ СО РАН. // Письма в ЭЧАЯ. - 2012. - Т.9, N4/5. - С.666-ИЯФ СО РАН: Библиография
- [233] Пархомчук В.В., Петрожицкий А.В., Растигеев С.А. Тонкоплечный детектор для регистрации ионов на ускорительном масс-спектрометре. // Письма в ЭЧАЯ. - 2012. - Т.9, N4/5. - С.729-734.
- [234] Иванов В.Ю., Пустоваров В.А., Кикас А., Кямбре Т., Куусик И., Кирм М., Зинин Э.И. Вакуумная ультрафиолетовая и рентгеновская эмиссионная спектроскопия анионных и катионных экситонов в оксидных кристаллах. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2012. - N2. - С.5-10.
- [235] Генцелев А.Н., Гольденберг Б.Г., Петрова Е.В., Пиндюрин В.Ф., Козлов А.С. Исследования влияния синхротронного излучения на термофизические параметры рентгенорезиста ПММА. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2012. - N1. - С.14-20.
- [236] Котельников А.И., Селиванов А.Н., Федотов М.Г. ПЗС-детектор для экспериментов с высоким временным разрешением на пучках СИ. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2012. - N5. - С.25-30.
- [237] Корнеев В.Н., Шлектарев В.А., Забелин А.В., Аульченко В.М., Толочко Б.П., Арискин Н.И., Ланина Н.Ф., Вазина А.А. Рентгенографические станции на базе цилиндрических трансфокаторов для наноструктурных исследований с использованием синхротронного излучения. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2012. - N10. - С.71-87.
- [238] Волков А.А., Лев В.Х., Мезенцев Н.А., Мигинская Е.Г., Сыроватин В.М., Хрущев С.В., Цуканов В.М., Шкаруба В.А. Сверхпроводящий 119-полосный вигглер с полем 2.1 Тл и периодом 30 мм для накопителя ALBA. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2012. - N5. - С.3-12.
- [239] Легкодымов А.А., Машковцев М.Р., Николенко А.Д., Пиндюрин В.Ф., Лях В.В., Авакян С.В., Воронин Н.А. Сравнительная аттестация

- вторичных электронных умножителей в ультромягком рентгеновском диапазоне. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2012. - N5. - С.31-34.
- [240] Николенко А.Д., Авакян С.В., Афанасьев И.М., Воронин Н.А., Коваленко Н.В., Легкодымов А.А., Лях В.В., Пиндюрин В.Ф. Станция "Космос". Использование синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-4 для метеорологических измерений в ВУФ и мягком рентгеновском диапазоне. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2012. - N5. - С.13-19.
- [241] Иванов А.А., Алейник В.И., Иваненко С.В., Квашнин А.Н., Пурыга Е.А., Ровенских А.Ф., Суляев Ю.С., Хильченко А.Д. Адаптивный гамма-спектрометр с высокой скоростью обработки событий. // Приборы и Техника Эксперимента. - 2012. - N1. - С.5-15. [Instruments and Experimental Techniques. - 2012. - Vol.55, N1. - p.1-10].
- [242] Ращенко В.В. Двуполярный импульсный генератор ГИД-25 для питания элементов канала транспортировки пучка К500. // Приборы и Техника Эксперимента. - 2012. - N1. - С.56-63.
- [243] Бурмасов В.С., Бобылев В.Б., Иванова А.А., Иваненко С.В., Касатов А.А., Касатов Д.А., Кругляков Э.П., Кузнецов К.Н., Попов С.С., Поступаев В.В., Пурыга Е.А., Ровенских А.Ф., Скляр В.Ф. Инфракрасный интерферометр для исследования субтермоядерной плазмы в многопробочной ловушке ГОЛ-3. // Приборы и Техника Эксперимента. - 2012. - N2. - С.120-123. [Instruments and Experimental Techniques. - 2012, Vol.55, N2, p.259-262].
- [244] Акимов А.В., Логачев П.В., Корепанов А.А., Аверин Ф.В., Савинова О.В., Мамаев Г.Л., Мамаев С.Л. Магнитопроводы из аморфной ленты для индукционного ускорителя. // Приборы и Техника Эксперимента. - 2012. - N2. - С.129-134.
- [245] Пурыга Е.А., Хильченко А.Д., Квашнин А.Н., Зубарев П.В., Иванова А.А., Иваненко С.В. Многофункциональный быстродействующий регистратор ADC12500. // Приборы и Техника Эксперимента. - 2012. - N3. - С.75-83.
- [246] Акимов А.В., Акимов В.Е., Бак П.А., Бочков В.Д., Вехорева Л.Т., Корепанов А.А., Логачев П.В., Панов А.Н., Старостенко Д.А., Шилин О.В. Система импульсного питания линейного индукционного ускорителя ЛИУ-2. // Приборы и Техника Эксперимента. - 2012. - N2. - С.77-83.
- [247] Блинов В.Е., Присекин В.Г. Исследование катодного старения и порога возникновения автоэмиссии с катодных проволочек в дрейфовых камерах // ПТЭ. - 2012. - N4. - С.14-25.
- [248] Эпштейн Л.Б., Юдин Ю.В. Обработка сигналов жидкоксенонового калориметра детектора КМД-3 для временных измерений. // ПТЭ. - 2012. - N5. - С.43-53.
- [249] Грошев В.Р., Казанин В.Ф., Оттмар А.В., Федотов М.Г., Цыганов А.С. Применение цифровых регистраторов изображений в системах диагностики пучка // ПТЭ. - 2012. - N1. - С.44-49.
- [250] Барков Л.М., Винокуров Н.А., Ковальчук М.В., Корчуганов В.Н., Кругляков Э.П., Левичев Е.Б., Мезенцев Н.А., Мешков И.Н., Пархомчук В.В., Скринский А.Н., Хрипович И.Б., Шатунов Ю.М. Юбилейная статья. // Геннадий Николаевич Кулипанов (к 70-летию со дня рождения) // УФН. - 2012. - Т.182, N2. - С.231-232.
- [251] Аржанников А.В., Бурдаков А.В., Вячеславов Л.Н., Иванов И.А., Иванцовский М.В., Касатов А.А., Кузнецов С.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Попов С.С., Синицкий С.Л., Скляр В.Ф., Тумм М.К.А. Диагностический комплекс для исследований генерации субтерагерцового излучения при пучково-плазменном взаимодействии на установке ГОЛ-3. // Физика плазмы. - 2012. - Т.38, N6. - С.496-505. [Plasma Physics Reports. - 2012. - Vol.38, N6. - p.450-459].
- [252] 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., Сорокина Н.В., Суляев Ю.С. Исследование вращения плазмы в установке ГОЛ-3. // Физика плазмы. - 2012. - Т.38, N9. - С.779-791. [Plasma Physics Reports. - 2012. - Vol.38, N9. - p.718-728].
- [253] Сковородин Д.И., Беклемишев А.Д. Истечение плазмы из гофрированной ловушки в кинетическом режиме. // Физика плазмы. - 2012. - Т.38, N3. - С.226-230.
- [254] Котельников И.А. Кинетические коэффициенты Брагинского и Балеску для электронов в лоренцевой плазме. // Физика плазмы. - 2012. - Т.38, N8. - С.665-676.
- [255] Вячеславов Л.Н., Иванцовский М.В., Мешков О.И., Попов С.С., Смалюк В.В. Методы оптической диагностики электрон-позитронных пучков и взаимодействия плазмы с сильноточным электронным пучком. // Физика ЭЧАЯ. - 2012. - Т.43, N2. - С.451-499.
- [256] Смалюк В.В. Обзор коллективных неустойчивостей пучка в электрон-позитронных накопителях // Физика ЭЧАЯ. - 2012. - Т.43, N2. - С.401-450.
- [257] Козлов М.Г., Резниченко А.В., Фадин В.С. Импакт-фактор для рождения глюона в мультиреджевской кинематике в следующем за борновским приближении. // Ядерная физика. - 2012. - Т.75, N7. - С.905-920. [Physics of Atomic Nuclei, July 2012. - Volume 75, Issue 7. - p.850-865].
- [258] Козлов М.Г., Резниченко А.В., Фадин В.С. Проверка условия реджезации глюона в следующем за главным порядком. Глюонная часть. // Ядерная физика. - 2012. - Т.75, N4. - С.529-542. [Physics of

Atomic Nuclei, April 2012. - Volume 75, Issue 4. - p.493-506].

[259] Fedotov A.P., Trunova V.A., Zvereva V.V., Maksimovskaya V.V., Melgunov M.S. Reconstruction of glacier fluctuation (East Siberia, Russia) during the last 160 years based on high resolution geochemical proxies from proglacial lake bottom sediments of the Baikalsky Ridge. // Intern. Journal of Environmental Studies. - 2012. - V.69, N5. - p.806-815.

[260] Воевода М.И., Кручинина М.В., Пельтек С.Е., Курилович С.А., Кручинин В.Н., Спесивцев Е.В., Рыхлицкий С.В., Володин В.А., Генералов В.М., Герасимов В.В., Князев Б.А. Использование оптических методов исследования крови в диагностике стадии заболевания при диффузной патологии печени. // Архивъ внутренней медицины. - 2012. - N4(6). - С.46-54.

[261] Кубарев В.В., Макашов Е.В., Палагин К.С., Середняков С.С., Федотов М.Г. Измерители мощности и системы визуализации терагерцового излучения на Новосибирском лазере на свободных электронах. // Вестник НГТУ. - 2012. - N4(49). - С.76-79.

[262] Винокуров Н.А., Власенко М.Г., Герасимов В.В., Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Князев Б.А., Кулипанов Г.Н., Никитин А.К., Черкасский В.С., Чопоров Ю.Ю. Мощный терагерцовый лазер на свободных электронах: метрологические аспекты. // Вестник НГТУ. - 2012. - N4(49). - С.63-71.

[263] Кубарев В.В., Винокуров Н.А., Колобанов Е.И., Кулипанов Г.Н., Матвеев А.Н., Саликова Т.В., Середняков С.С., Щеглов М.А. Фурье-спектроскопия водяных паров в 40-метровом оптическом транспортном канале Новосибирского лазера на свободных электронах. // Вестник НГТУ. - 2012. - N4(49). - С.72-75.

[264] Пельтек С.Е., Мошкин М.П., Герлинская Л.А., Горячковская Т.Н., Банникова С.В., Подколотная О.А., Попик В.М., Колчанов Н.А. SPF-виварий: научно-технологический комплекс для исследований в области нанообезопасности. // Нанотехнологии. Экология. Производство. - 2012. - N15. - С.30-33.

[265] Маркова Ю.Н., Кербер Е.В., Анчутина Е.А., Зарубина О.В., Максимовская В.В., Золотарев К.В. Применение стандартных образцов донных отложений для оценки показателей качества методики рентгенофлуоресцентного анализа с синхротронным излучением // Стандартные образцы. - 2012. - N2. - С.52-58.

[266] Станкус С.В., Яцук О.С., Жмуриков Е.И., Текчио Л. Тепловое расширение искусственных графитов в интервале температур 293-1650 К. // Теплофизика и аэромеханика. - 2012. - Т.19, N5(77). - С.637-642.

[267] Thumm M.K.A., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Burdakov A.V., Ginzburg N.S., Ivanov I.A.,

Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Paulish A.G., Peskov N.Yu., Polosatkin S.V., Popov S.A., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sergeev A.S., Sinitzky S.L., Sklyarov V.F., Stepanov V.D., Vyacheslavov L.N., Zaslavsky V.Yu. Generation of high power THz waves in relativistic electron beam plasma and two-sheet-beam FEM. // Terahertz Science and Technology. - 2012. - Vol.5, N1. - p.18-39.

[268] Eilerman S., Anderson J.K., Reusch J.A., Liu D., Fiksel G., Polosatkin S. and Belykh V. Time-resolved ion energy distribution measurements using an advanced neutral particle analyzer on the MST reversed-field pinch. // Rev. Sci. Instrum. -2012. - Vol.83. - 10D302; doi: 10.1063/1.4728312.

[269] Arzhannikov A.V., Ginzburg N.S., Kalinin P.V., Malkin A.M., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Sinitzky S.L., Thumm M., Zaslavsky V.Yu. Short-wavelength tunable Bragg reflectors based on coupling of propagating and cutoff waves: modeling and experimental studies. // Applied Physics Letters. - 2012. - Vol.101, Iss.8. - Paper 083507.

[270] Ginzburg N.S., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Zaslavsky V.Yu., Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Sinitzky S.L., Thumm M. High selective two-dimensional Bragg resonators of planar geometry: theoretical, computational and experimental study. // Journal of Applied Physics. - 2012. - Vol.112. - 114504.

[271] Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Вшивков В.А., Снытников А.В. Исследование коллективных процессов в плазме многопробочной ловушки. // В кн.: Вычислительные методы, алгоритмы и аппаратно-программный инструментальный параллельного моделирования природных процессов /Под ред. В.Г. Хорошевского. - Новосибирск СО РАН. - 2012. - С.97-105 (354 с.). - (Интеграционные проекты СО РАН, вып.33).

[272] Синицкий С.Л., Аржанников А.В. Мощные импульсные пучки. // Учебное пособие. - Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2012. -140 с.

[273] Khriplovich I.B. and Rudenko A.S. Cosmology constrains gravitational four-fermion interaction. // JCAP11 (2012) 040.

[274] Dmitriev V.F, Flambaum V.V. Decays of fourth generation bound states. // International Journal of Modern Physics A. - 2012. - Vol. 27. - 1250179.

[275] 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. - V.706. - p.470-476.

[276] Fadin V.S., Fiore R., Grabovsky A.V. and Papa A. Connection between complete and Möbius forms of gauge invariant operators. // Nucl. Phys. B. - 2012. - V.856. - p.111-124.

[277] Fadin V.S., Fiore R. and Papa A. Difference between standard and quasi-conformal BFKL kernels. // Nucl. Phys. B. - 2012. - Vol.865. - p.67-82.

- [278] Lee R.N. DRA method: Powerful tool for the calculation of the loop integrals. // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2012. - Vol.368. - 012050.
- [279] 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*. - 2012. - Vol.856. - p.95-110. [arXiv: 1108.0732].
- [280] Lee R.N. and Smirnov V.A. The dimensional recurrence and analyticity method for multicomponent master Integrals: using unitarity cuts to construct homogeneous solutions. // *JHEP*. - 2012. - Vol 1212. - Vol.104. [arXiv:1209.0339].
- [281] Salnikov S.G. Spin-dependent part of $\bar{p}d$ interaction cross section and Nijmegen potential. // *Nuclear Physics A*. - 2012. - Vol.874. - p.98-107.
- [282] Grozin A.G. Massless two-loop self-energy diagram: Historical review. // *J. Mod. Phys. A*. - 2012. - Vol.27. - 1230018 (22p.). [arXiv:1206.2572v3 [hep-ph]].
- [283] Grozin A.G. Höschele M., Hoff J., Steinhauser M. Simultaneous decoupling of bottom and charm quarks. // *Proceedings of Science (LL2012) 032* (10 p.) (<http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=151>) [arXiv:1205.6001 [hep-ph]].
- [284] Lee R.N. Milstein A.I., Terekhov I.S. // Quasilocalaized states in a model of electron-electron interaction in grapheme. // *Phys. Rev. B*. - 2012. - Vol.86. - 035425.
- [285] Катков В.М. Рождение пары поляризованным фотоном в постоянном и однородном электромагнитном поле. // *ЖЭТФ*. - 2012. - Том 141, N2. - С.258-266. [JETP. - 2012. - Vol 114, N2. - p.226-233].
- [286] Andrew Feldman, Andrei A. Pomeransky. Charged black rings in supergravity with a single non-zero gauge field. // *JHEP*. - 2012. - Vol.1207. - p.141.
- [287] Zhiron O.V., Shepelyansky D.L. Wigner crystal in snaked nanochannels: outlook. // *Physica B*. - 2012. - Vol.407. - p.1909-1911.
- [288] Бару С.Е. Система рентгеновского досмотра «Сибскан М1» - продукт нового поколения, предназначенный для досмотра тела человека. // Сборник «Инновация 2012». Издательство «Новосибирск - престиж», Новосибирск. - 2012. - С.104.
- [289] Калмыков В.В., Украинцев Ю.Г. Сибирский сканер досмотра. // *Аэропорты. Прогрессивные технологии*. - 2012. - N1 (54). - С.13-16.
- [290] Слезко С.М., Украинцев Ю.Г. Решение по обеспечению комплексной безопасности аэропортов. // *Аэропорты. Прогрессивные технологии*. 2012. - N3 (56). - С.17-19.
- [291] Калмыков В.В., Слезко С.М., Украинцев Ю.Г. Обеспечение транспортной безопасности на объектах инфраструктуры аэропорта. // *Мир и безопасность*. 2012. - N4. - С.22-24.
- [292] Воронин К.А., Украинцев Ю.Г. Модель эффективной системы досмотра в аэропорту. // *Мир и безопасность*. - 2012. - N2. - С.38-40.
- [293] Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Grebenuk A., Peleganchuk S., Porosev V., Shekhtman L., Shemyakina E., Sokolov A. Study of infrared scintillations in gaseous and liquid argon. Part II: light yield and possible applications. // *Journal of Instrumentation*. - 2012. - N7. - P06014.
- [294] Aulchenko V.M., Bondar A.E., Dolgov A.M., Kudryavtsev V.N., Nikolenko D.M., Papishev P.A., Pruel E.R., Rachek I.A., Shekhtman L.I., Ten K.A., Titov V.M., Tolochko V.P., Zhilich V.N., Zhulanov V.V. GEM-based detectors for SR imaging and particle tracking. // *Journal of Instrumentation*. - 2012. - N7. - C03021.
- [295] Parkhomchuk V.V., Rastigeev S.A. Ion selection in accelerator mass spectrometer at the Budker Institute of Nuclear Physics. // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. - 2012. - Vol.9, N4-5. - p.406-409.
- [296] Parkhomchuk V.V., Petrozhitskii A.V., and Rastigeev S.A. Thin film detector for ion registration in accelerator mass spectrometers. // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. - 2012. - Vol.9, N4-5. - p.448-451.
- [297] Buzulutskov A. Advances in cryogenic avalanche detectors (review). // *J. of Instrumentation*. - 2012. - V.7. - Paper C02025. P.1-56.
- [298] Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Grebenuk A., Shemyakina E., Sokolov A. Study of infrared scintillations in gaseous and liquid argon. Part I: methodology and time measurements. // *J. of Instrumentation*. - 2012. - V.7. - Paper P06015. P.1-17.
- [299] Акимов Д.Ю., Александров И.С., Белов В.А., Беляев В.Н., Болоздыня А.И., Бузулуцков А.Ф., и др. // Аппаратный комплекс по измерению отклика жидкого ксенона для ядер отдачи низких энергий на реакторе ИРТ МИФИ. // *Ядерная физика и инжиниринг*. - 2012. - Т.3, N6. - С.490-495.
- [300] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Observation of excited Λ_b baryons. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.109. - p.172003.
- [301] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurements of B_c^+ production and mass with $B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+$ decay. // *Phys. Rev. Lett.* - 2012. - V.109. - p.232001.
- [302] Chang M.C., Belle Collab., Bondar A., Eidelman S., Garmash A., Krokovny P., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Measurement of $B^0 \rightarrow J/\psi \eta'$ and constraint on the $\eta - \eta'$ mixing angle. // *Phys. Rev. D*. - 2012. - V. 85. - p.091102.
- [303] Beringer J., Eidelman S., et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics. // *Phys. Rev. D*. - 2012. - Vol.86. - 010001.

- [304] Negishi K., Belle Collab., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Search for the decay $B^0 \rightarrow D K^{*0}$ followed by $D \rightarrow K^- \pi^+$. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - Vol.86. - p.011101(R).
- [305] Kim J.H., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Search for $B \rightarrow \varphi \pi$ decays. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - Vol.86. - p.031101(R).
- [306] Shen C-P., Belle Collab., A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Zhilich V., Zhulanov V., et al. First observation of exclusive $\Upsilon(1S)$ and $\Upsilon(2S)$ decay into light hadrons. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - Vol.86. - p.031102(R).
- [307] Hsu C.-L., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Shwartz B., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Search for B^0 decays to invisible final states at Belle. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - Vol.86. - p.032002.
- [308] Zhang C.C., Belle Collab., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhulanov V., et al. First study of $\eta_c(1S)$, $\eta(1760)$ and $X(1835)$ production via $\eta' \pi^+ \pi^-$ final states in two-photon collisions. // *Phys. Rev. D.* 2012. - Vol.86. - p.052002.
- [309] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Analysis of the resonant components in $B_s \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$. *Phys. Rev. D.* 2012. - Vol.86. - p.052006.
- [310] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of the $B_s^0 \rightarrow J/\psi \bar{K}^{*0}$ branching fraction and angular amplitudes. // *Phys. Rev. D.* - 2012. Vol.86. - p.071102.
- [311] Kronenbitter B., Belle Collab., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. First observation of CP violation and improved measurement of the branching fraction and polarization of $B^0 \rightarrow D^{*+} D^{*-}$ decays. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - Vol.86. - p.071103.
- [312] Stypula J., Belle Collab., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Evidence for $B^- \rightarrow D_s^+ K^- \Gamma^- \bar{\nu}_l$ and search for $B^- \rightarrow D_s^{*+} K^- \Gamma^- \bar{\nu}_l$. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - Vol.86. - p.072007.
- [313] Uehara S., Belle Collab., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. et al. Measurement of $\gamma \gamma^* \rightarrow \pi^0$ transition form factor at Belle. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - Vol.86. - p.092007.
- [314] Dalseno J., Belle Collab., Aulchenko V., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Matvienko D., Shebalin V., Usov Y., Zhilich V., Zhulanov V., et al. Measurement of branching fraction and first evidence of CP violation in $B^0 \rightarrow a_1(1260) \pi^\mp$ decays. // *Phys. Rev. D.* - 2012. - Vol.86. - p.092012.
- [315] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. First observation of the decays $B_s \rightarrow D_s K \pi \pi$ and $B_s \rightarrow D_{s1}(2536) \pi$. // *Phys. Rev. D.* 2012. - Vol.86. - p.112005.
- [316] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of the ratio of prompt χ_c to J/ψ production in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // *Phys. Lett. B* - 2012. - Vol.718. - p.431.
- [317] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Absolute luminosity measurements with the LHCb detector at the LHC. // *JINST.* 2012. - Vol.7. - P01010.
- [318] Eidelman S.I. and Shwartz B.A. Interactions of particles and radiation with matter. // In Grupen, Claus (ed.) et al.: *Handbook of particle detection and imaging.* - 2012. - Vol.1, p.3-23.
- [319] Bodenstein, ..., Eidelman S., et al. Confronting electron-positron annihilation into hadrons with QCD: an operator product expansion analysis. // *JHEP.* - 2012. - Vol.1201. - p.039.
- [320] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of the B^\pm production cross section in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // *JHEP.* - 2012. - Vol.1204. - 093.
- [321] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of mixing and CP violation parameters in two-body charm decays. // *JHEP.* - 2012. - Vol.1204. - 129.
- [322] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Inclusive W and Z production in the forward region $\sqrt{s}=7$ TeV. // *JHEP.* - 2012. - Vol.1206. - p.058.
- [323] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurements of the branching fractions of the decays $B_s^0 \rightarrow B_s^\mp K^\pm$ and $B_s^0 \rightarrow D_s^\mp \pi^\pm$. // *JHEP.* 2012. - Vol.1206. - p.115.
- [324] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Observation of double charm production involving open charm pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // *JHEP.* 2012. - Vol.1206. - p.141.

- [325] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of the isospin asymmetry in $B \rightarrow K^{(*)} \mu^+ \mu^-$ decays. // JHEP. - 2012. - Vol.1207. - p.133.
- [326] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of b-hadron branching fractions for two-body decays into charmless charged hadrons. // JHEP. - 2012.- Vol.1210. - 037.
- [327] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Study of D_{s1} decays to $D^+ K_S$ and $D^0 K^+$ final states in pp collisions. // JHEP. 2012. - Vol.1210. - p.151.
- [328] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of the fraction of $\Upsilon(1S)$ originating from $\chi_b(1P)$ decays in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // JHEP. 2012. - Vol.1211. - p.031.
- [329] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. First observation of the decay $B^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$. // JHEP. - 2012. - Vol.1212. - p.125.
- [330] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Observation of $X(3872)$ production in pp collisions $\sqrt{s}=7$ TeV. // Eur. Phys. J. C. - 2012. - Vol.72. - p.1972.
- [331] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Measurement of prompt hadron production ratios in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // Eur. Phys. J. C. - 2012. - Vol.72. - p.2168.
- [332] Brodzicka J., Belle Collab., Eidelman S., et al. Physics Achievements from the Belle Experiment. // PTEP. - 2012. - Vol.2012. - p.04D001.
- [333] R.R. Akhmetshin, A.V. Anisyonkov, S.A. Anokhin, V.M. Aulchenko, V.S. Banzarov, L.M. Barkov, N.S. Bashtovoy, D.E. Berkaev, A.E. Bondar, A.V. Bragin, S.I. Eidelman, D.A. Epifanov, L.B. Epshteyn, G.V. Fedotovitch, S.E. Gayazov, A.A. Grebenuk, D.N. Grigoriev, E.M. Gromov, F.V. Ignatov, S.V. Karpov, V.F. Kazanin, B.I. Khazin, I.A. Koop, A.N. Kozyrev, A.S. Kuzmin, A.E. Kuzmenko, I.B. Logashenko, A.P. Lysenko, P.A. Lukin, K.Yu. Mikhailov, Yu.N. Pestov, E.A. Perevedentsev, S. Pirogov, S.G. Pivovarov, A.S. Popov, Yu.S. Popov, S.I. Redin, Yu.A. Rogovsky, A.A. Ruban, N.M. Ryskulov, A.E. Ryzhenenkov, V.E. Shebalin, D.N. Shemyakin, B.A. Shwartz, D.B. Shwartz, A.L. Sibidanov, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, I.G. Snopkov, E.P. Solodov, V.M. Titov, A.A. Talyshev, A.I. Vorobiov, Yu.V. Yudina, A.S. Zaytsev (CMD-3 Collab.). First results from the CMD-3 detector at the VEPP-2000 Collider. // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. - 2012. - Vol.225-227. - p.43-47.
- [334] R.R. Akhmetshin, A.V. Anisyonkov, S.A. Anokhin, V.M. Aulchenko, V.S. Banzarov, L.M. Barkov, N.S. Bashtovoy, D.E. Berkaev, A.E. Bondar, A.V. Bragin, S.I. Eidelman, D.A. Epifanov, L.B. Epshteyn, G.V. Fedotovitch, S.E. Gayazov, A.A. Grebenuk, D.N. Grigoriev, E.M. Gromov, F.V. Ignatov, S.V. Karpov, V.F. Kazanin, B.I. Khazin, I.A. Koop, A.N. Kozyrev, A.S. Kuzmin, A.E. Kuzmenko, I.B. Logashenko, A.P. Lysenko, P.A. Lukin, K.Yu. Mikhailov, Yu.N. Pestov, E.A. Perevedentsev, S. Pirogov, S.G. Pivovarov, A.S. Popov, Yu.S. Popov, S.I. Redin, Yu.A. Rogovsky, A.A. Ruban, N.M. Ryskulov, A.E. Ryzhenenkov, V.E. Shebalin, D.N. Shemyakin, B.A. Shwartz, D.B. Shwartz, A.L. Sibidanov, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, I.G. Snopkov, E.P. Solodov, V.M. Titov, A.A. Talyshev, A.I. Vorobiov, Yu.V. Yudin, A.S. Zaytsev (CMD-3 Collab.). Current status of the luminosity measurement with the CMD-3 detector at the VEPP-2000 e^+e^- collider. // Nucl. Phys. Proc. Suppl. - 2012. - Vol.225-227. - p.69-71.
- [335] S. Eidelman. Investigation of meson properties with the Belle detector. // EPJ Web of Conferences. - 2012. - Vol.37. - 01001.
- [336] R.R. Akhmetshin, A.V. Anisyonkov, S.A. Anokhin, V.M. Aulchenko, V.S. Banzarov, L.M. Barkov, N.S. Bashtovoy, D.E. Berkaev, A.E. Bondar, A.V. Bragin, S.I. Eidelman, D.A. Epifanov, L.B. Epshteyn, G.V. Fedotovitch, S.E. Gayazov, A.A. Grebenuk, D.N. Grigoriev, E.M. Gromov, F.V. Ignatov, S.V. Karpov, V.F. Kazanin, B.I. Khazin, I.A. Koop, A.N. Kozyrev, A.S. Kuzmin, A.E. Kuzmenko, I.B. Logashenko, A.P. Lysenko, P.A. Lukin, K.Yu. Mikhailov, Yu.N. Pestov, E.A. Perevedentsev, S. Pirogov, S.G. Pivovarov, A.S. Popov, Yu.S. Popov, S.I. Redin, Yu.A. Rogovsky, A.A. Ruban, N.M. Ryskulov, A.E. Ryzhenenkov, V.E. Shebalin, D.N. Shemyakin, B.A. Shwartz, D.B. Shwartz, A.L. Sibidanov, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, I.G. Snopkov, E.P. Solodov, V.M. Titov, A.A. Talyshev, A.I. Vorobiov, Yu.V. Yudina, A.S. Zaytsev (CMD-3 Collab.). Results from the e^+e^- colliders in Novosibirsk. // EPJ Web of Conferences. - 2012. - Vol.37. - 01009.
- [337] 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.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. Sandyrev, 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, 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. // EPJ Web of Conferences. - 2012. - Vol.37. - 09014.
- [338] Гришняев Е., Полосаткин С. Определение выхода титановой нейтронообразующей мишени. // Атомная энергия. - 2012. - Т.113, N5. - С.276-280.
- [339] Achasov M.N., Barnyakov A.Yu., Beloborodov K.I., Berdugin A.V., Berkaev D.E., Bogdanchikov A.G., Borisov A.A., Botov A.A., Bukin D.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Grevtsov K.A., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Koop I.A., Korol A.A., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Lysenko A.P., Martin K.A., Nesterenko I.N., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Perevedentsev E.A., Rogovsky Yu.A., Romanov A.L., Serednyakov S.I., Shatunov Yu.M., Shatunov P.Yu., Shtol D.A., Silagadze Z.K., Skovpen K.Yu., Skrinsky A.N., Surin I.K., Tikhonov Yu.A., Usov Yu.V., Vasilyev A.V., Zemlyansky I.M. First results of SND experiments at VEPP-2000. // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. - 2012. - Vol. 225-227. - p.48-51.
- [340] Achasov M.N., Barnyakov A.Yu., Beloborodov K.I., Berdugin A.V., Berkaev D.E., Bogdanchikov A.G., Borisov A.A., Botov A.A., Bukin D.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Grevtsov K.A., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Koop I.A., Korol A.A., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Lysenko A.P., Martin K.A., Nesterenko I.N., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Perevedentsev E.A., Rogovsky Yu.A., Romanov A.L., Serednyakov S.I., Shatunov Yu.M., Shatunov P.Yu., Shtol D.A., Silagadze Z.K., Skovpen K.Yu., Skrinsky A.N., Surin I.K., Tikhonov Yu.A., Usov Yu.V., Vasilyev A.V., Zemlyansky I.M. First results on the nucleon form factors from SND. // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. - 2012. - Vol. 225-227. - p.201-204.
- [341] 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.I., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Kovrizhin D.P., A.A.Korol, 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. // Nucl. Phys. B. Proc. Suppl. - 2012. - Vol.225-227. - p.66-68.
- [342] Achasov M.N., Barnyakov A.Yu., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Berkaev D.E., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Bukin D.A., Vasiljev A.V., Golubev V.B., Grevtsov K.I., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Kardapoltsev L.V., Kovrizhin D.P., Koop I.A., Korol A.A., Koshuba S.V., Kravchenko E.A., Martin K.A., Obrazovsky A.E., Otboev A.V., Pakhtusova E.V., Romanov A.L., Serednyakov S.I., Silagadze Z.K., Skovpen K.Yu., Skrinsky A.N., Surin I.K., Tikhonov Yu.A., Kharlamov A.G., Shatunov P.Yu., Shatunov Yu.M., Shtol D.A., Shwartz D.B., Zharinov Yu.M. First results of Spherical neutral detector (SND) experiments at VEPP-2000. // Progress in Particle and Nuclear Physics. - 2012. - Vol. 67. - p.594.
- [343] Башкирцев А.Г., Иванов А.А., Касатов Д.А. и др. Рентгеновское излучение высоковольтных элементов ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией. // Медицинская физика, 2012. - N2. - С.5-11.
- [344] Алейник В.И., Кузнецов А.С., Сорокин И.Н., Таскаев С.Ю., Тиунов М.А., Щудло И.М. Калибровка обдирочной мишени ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией. // Научный вестник НГТУ, Новосибирск 2012, отправлено в печать.
- [345] Vadim Byvaltsev, Vladimir Kanygin, Eugeny Belykh, Sergey Taskaev. Prospects in Boron Neutron Capture Therapy of Brain Tumors. // World Neurosurgery. 2012. - Vol.78, Issues 1-2. - p.8-9.тг
- [346] Timofeev I.V.. Second harmonic electromagnetic emission of a turbulent magnetized plasma driven by a powerful electron beam. // Physics of Plasmas. - 2012. - Vol.19. - p.044501.
- [347] Timofeev I.V. Two-dimensional simulations of nonlinear beam-plasma interaction in isotropic and magnetized plasmas. // Physics of Plasmas. - 2012. - Vol.19. - p.042108.тг
- [348] Borodin A.V., Esaulkov M.N., Kuritsyn I.I., Kotelnikov I.A., Shkurinov A.P. On the role of photoionization in generation of terahertz radiation in the plasma of optical breakdown. // JOSA B. - 2012. - Vol.29, Iss. 8. - p.1911-1919.
- [349] Kotelnikov I.A., Romé M. Electron cyclotron resonance near the axis of a quadrupole linear trap. // Phys. Plasmas. - 2012. - Vol.19, N12. - p.122509 [<http://dx.doi.org/10.1063/1.4772772><<http://link.aip.org/link/doi/10.1063/1.4772772>>].
- [350] Waksman J., Anderson J.K., Nornberg M.D., Parke E., Reusch J.A., Liu D., Fiksel G., Davydenko V.I., Ivanov A.A., Stupishin N., Deichuli P.P., and Sakakita H. Neutral beam heating of a RFP plasma in MST. // Physics of Plasmas. 2012. - Vol.19. - p.122505.
- [351] Ivanov A., Davydenko V. Diagnostic neutral beams for plasma studies in magnetic fusion devices. // In book: Fusion Physics /edited by Mitsuru Kikuchi, Karl Lackner, Minh Kuang Tran. - International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012, p.435-438.
- [352] Beklemishev A., Anikeev A., Burdakov A., Ivanov A., Ivanov I., Postupaev V., and Sinitsky S. GDT-based neutron source with multiple-mirror end plugs. // AIP Conf. Proc. - 2012. - 1442. - p.147-152.
- [353] Beklemishev A.D., Burdakov A.V., Ivanov A.A., Kruglyakov E.P. Magnetic mirrors: history, results and future prospects. // Problems of Atomic Science and

Technology, Series: Plasma Physics. - 2012. - Vol.6. - p.8-12.

[354] Lotov K.V. Optimum angle for side injection of electrons into linear plasma wakefields. // *J. Plasma Phys.* - 2012. - Vol.78, N4. - P.455-459.

[355] Pukhov A., Tuckmantel T., Kumar N., Upadhyay A., Lotov K., Khudik V., Siemon C., Shvets G., Muggli P., and Caldwell A. Principles of self-modulated proton driven plasma wake field acceleration. // *AIP Conf. Proc.* - 2012. - Vol.1507. - p.103-110.

[356] Hidding B., Rosenzweig J.B., Xi Y., O'Shea B., Andonian G., Schiller D., Barber S., Williams O., Pretzler G., Konigstein T., Kleeschulte F., Hogan M.J., Litos M., Corde C., White W.W., Muggli P., Bruhwiler D.L., and Lotov K. Beyond injection: Trojan horse underdense photocathode plasma wakefield acceleration. // *AIP Conf. Proc.* - 2012. - Vol.1507. - p.570-575.

[357] Yurov D.V., Anikeev A.V., Bagryansky P.A., Brednikhin S.A., Frolov S.A., Lezhnin S.I., and Prikhodko V.V. Parameters optimization in a hybrid system with a gas dynamic trap based neutron source. // *Fusion Engineering and Design.* - 2012. - Vol.87. - p.1684-1692.

[358] M.N. Achasov, V.M. Aulchenko, A.Yu. Barnyakov, K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, D.E. Berkaev, A.G. Bogdanchikov, A.A. Borisov, A.A. Botov, D.A. Bukin T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, V.B. Golubev, K.I. Grevtsov, L.V. Kardapoltsev, A.S. Kasaev, A.G. Kharlamov, A.N. Kirpotin, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, D.P. Kovrizhin, E.A. Kravchenko, K.A. Martin, A.E. Obrazovsky, A.P. Onuchin, A.V. Otboev, E.V. Pakhtusova, Yu.A. Rogovsky, S.I. Serednyakov, Yu.M. Shatunov, D.A. Shtol, D.B. Shwartz, Z.K. Silagadze, K.Yu. Skovpen, A.N. Skrinsky, I.K. Surin, Yu.A. Tikhonov, Yu.V. Usov, A.V. Vasiljev. Recent results from SND experiment at VEPP-2000 collider. // *Eur. Phys J. (Web Conf.)*. - 2012. - Vol.37. - p.09020.

[359] Berkaev D., Kirpotin A., Koop I., Lysenko A., Nesterenko I., Otboev A., Perevedentsev E., Rogovsky Yu., Romanov A., Shatunov P., Shatunov Yu., Shwartz D., Skrinsky A., Zemlyansky I. VEPP-2000 operation with round beams in the energy range from 1 GeV to 2 GeV. // *Nucl. Phys. Proc. Suppl.* - 2012. - Vol.225-227. - 303-308.

[360] M.N. Achasov, A.Yu. Barnyakov, K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, D.E. Berkaev, A.G. Bogdanchikov, A.A. Botov, D.A. Bukin, A.V. Vasiljev, V.B. Golubev T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, I.M. Zemlyansky, L.V. Kardapoltsev, D.P. Kovrizhin, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, K.A. Martin, A.E. Obrazovsky, E.V. Pakhtusova, Yu.A. Rogovsky, A.L. Romanov, S.I. Serednyakov, Z.K. Silagadze, K.Yu. Skovpen, A.N. Skrinsky, I.K. Surin, Yu.A. Tikhonov, Yu.V. Usov, A.G. Kharlamov, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, D.B. Shvarts, D.A. Shtol. Measurement of the cross section for the $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ process in the energy range of 1.1 - 1.9-GeV. Published in *JETP Lett.*

94 (2012) 2.

[361] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 the Higgs boson in the $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$ decay channel at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector. // *Phys. Lett. B.* - 2012. - V.718. - p.391-410.

[362] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 the Standard Model Higgs boson produced in association with a vector boson and decaying to a b-quark pair with the ATLAS detector. // *Phys. Lett. B.* - 2012. - V.718. - p.369-390.

[363] ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 WZ Production in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72. - p.2173 (27 p.).

[364] ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 top and bottom squarks from gluino pair production in final states with missing transverse energy and at least three b-jets with the ATLAS detector. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72. - p.2174 (22 p.).

[365] ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 event shapes at large momentum transfer with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. // *Eur. Phys. J. C.* - 2012. - V.72. - p.2211 (25 p.).

[366] ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 supersymmetry in events with large missing transverse momentum, jets, and at least one tau lepton in 7 TeV

proton-proton collision data with the ATLAS Detector. // Eur. Phys. J. C. - 2012. - V.72. - p.2215 (25 p.).

[367] ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 light scalar top quark pair production in final states with two leptons with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV proton-proton collisions. // Eur. Phys. J. C. - 2012. - V.72. - p.2237 (21 p.).

[368] ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. ATLAS search for a heavy gauge boson decaying to a charged lepton and a neutrino in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. // Eur. Phys. J. C. - 2012. - V.72. - p.2241 (25 p.).

[369] ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 doubly-charged Higgs bosons in like-sign dilepton final states at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // Eur. Phys. J. C. - 2012. - V.72. - p.2244 (19 p.).

[370] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 magnetic monopoles in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.109. - p.261803-1-18.

[371] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 supersymmetric partner to the top quark in final states with jets and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.109. - p.211802.

[372] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 direct top squark pair production in final states with one isolated lepton, jets, and missing transverse momentum in

$\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions using 4.7 fb^{-1} of ATLAS data. // Phys. Rev. Lett. - 2012. - V.109. - p.211803.

[373] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 inclusive jet and dijet production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.86. - p.014022.

[374] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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-produced heavy quarks decaying to Wq in the two-lepton channel at ATLAS at $\sqrt{s} = 7$ TeV. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.86. - p.012007.

[375] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 azimuthal ordering of charged hadrons with the ATLAS detector. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.86. - p.052005.

[376] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. ATLAS measurements of the properties of jets for boosted particle searches. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.86. - p.072006.

[377] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Underlying event characteristics and their dependence on jet size of charged-particle jet events in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.86. - p.072004.

[378] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Further search for supersymmetry at $\sqrt{s} = 7$ TeV in final states with jets, missing transverse momentum and isolated leptons with the ATLAS detector. // Phys. Rev. D. - 2012. - V.86. - p.092002.

- [379] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 top-jet resonances in the lepton+jets channel of $tt + jets$ events with the ATLAS detector in 4.7 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$. // *Phys. Rev. D*. - 2012. - V.86. - p.091103.
- [380] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of the cross section for top-quark pair production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector using final states with two high- p_T leptons. // *JHEP*. - 2012. - Vol 1205. - p. 059.
- [381] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 same-sign top quark production and fourth-generation down-type quarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. // *JHEP*. - 2012. - Vol 1204. - p.069.
- [382] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Forward-backward correlations and charged-particle azimuthal distributions in pp interactions using the ATLAS detector. // *JHEP*. - 2012. - Vol 1207. - p.019.
- [383] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of inclusive two-particle angular correlations in pp collisions with the ATLAS detector at the LHC. // *JHEP*. - 2012. - Vol 1205. - p.157.
- [384] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Jet mass and substructure of inclusive jets in $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ pp collisions with the ATLAS experiment. // *JHEP*. - 2012. - Vol 1205. - p.128.
- [385] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 charged Higgs bosons decaying via $H^+ \rightarrow \text{tau} + \nu$ in $t\bar{t}$ events using 4.6 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. // *JHEP*. - 2012. - Vol 1206. - p.039.
- [386] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of W boson polarization in top quark decays with the ATLAS detector. // *JHEP*. - 2012. - Vol.1206. - p.088.
- [387] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. A search for flavour changing neutral currents in top-quark decays in pp collision data collected with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$. // *JHEP*. - 2012. - Vol 1206. - p.139.
- [388] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Hunt for new phenomena using large jet multiplicities and missing transverse momentum with ATLAS in 4.7 fb^{-1} of $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ proton-proton collisions. // *JHEP*. - 2012. - Vol.1207. - p.167.
- [389] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 the Standard Model Higgs boson in the H to $\text{tau}^+ \text{tau}^-$ decay mode in $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ pp collisions with ATLAS. // *JHEP*. - 2012. - Vol 1209. - p.070.
- [390] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. A search for $t\bar{t}$ resonances in lepton+jets events with highly boosted top quarks collected in pp collisions at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector. // *JHEP*. - 2012. - Vol.1209. - p. 041.
- [391] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurements of the pseudorapidity dependence of the total transverse energy in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with ATLAS. // JHEP11. - 2012. - p.033.
- [392] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 top-quark partner in final states with two leptons with the ATLAS detector at the LHC. // JHEP11. - 2012. - p.094.
- [393] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 high-mass resonances decaying to dilepton final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // JHEP11. - 2012. - p.138.
- [394] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 anomalous production of prompt like-sign lepton pairs at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // JHEP12. - 2012. - p.007.
- [395] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Time dependent angular analysis of the decay $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ and extraction of $\Delta\Gamma_s$ and the CP-violating weak phase ϕ_s by ATLAS. // JHEP12. - 2012. - p.072.
- [396] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 pair production of massive particles decaying into three quarks with the ATLAS detector in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions at the LHC. // JHEP12. - 2012. - p. 086.
- [397] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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 R-parity-violating supersymmetry in events with four or more leptons in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with the ATLAS detector. // JHEP12. - 2012. - p.124.
- [398] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. A measurement of the material in the ATLAS inner detector using secondary hadronic interactions. // JINST. - 2012. - Vol.7. - P01013.
- [399] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., 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. Measurement of the b-hadron production cross section using decays to $D^* \mu X$ final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. // Nucl. Phys. B. - 2012. - Vol. 864. - p.341-381.
- [400] Gramolin A.V., Arrington J., Barkov L.M., Dmitriev V.F., Gauzshtein V.V., Golovin R.A., Holt R.J., Kaminsky V.V., Lazarenko B.A., Mishnev S.I., Muchnoi N.Yu., Neufeld V.V., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.Sh., Shestakov Yu.V., Stibunov V.N., Toporkov D.K., de Vries H., Zevakov S.A., Zhilich V.N. Measurement of the two-photon exchange contribution in elastic ep scattering at VEPP-3. // Nuclear Physics B (Proc. Suppl.). - 2012. - Vol.225-227. - p.216-220. [arXiv:1112.5369 [nucl-ex].
- [401] Гаузштейн 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., Фикс А.И., Шестаков Ю.В. Исследование тензорной анализирующей способности реакции фотообразования π^- мезона на дейтроне. // Известия вузов. Физика, 2012. - т.55 - N11/2. - С.5-10.
- [402] Ruktuev A.A., Golkovski M.G., Kuksanov N.K., Bataev I.A., Zhuravina T.V., Veselov S.V., Bataev V.A., Bataev A.A.. Metallographic features of Ti – Ta – Nb coats, fused deposited on the titanium substrate by extracted in atmosphere electron beam with 1.4 MeV electrons energy. // Electrotechnica & Electronica E+E. - 2012 (Published by The Union of Electronics, Electrical Engineering and Telecommunications, Bulgaria). - Vol.47, N5-6. - p.223-228.
- [403] Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovski M.G., Tepliukh A.M., Burov V.G., Veselov S.V. Non-vacuum electron-beam boriding of low-carbon steel. // Surface & Coatings Technology. - 2012. - Vol.207. - p.245-253.
- [404] Батаев И.А., Голковский М.Г., Журавина Т.В., Руктуев А.А., Самойленко В.В. Коррозионная стойкость слоев Ti-Ta, сформированных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковой смеси на пластины из технически чистого титана. // Ползуновский вестник. - 2012. -

N3/1. - С.80-84. [<http://elibrary.ru/item.asp?id=18372507>].

[405] Полетика И.М., Крылова Т.А., Иванов Ю.Ф., Голковский М.Г., Китлер В.Д., Тересов А.Д., Макаров С.А. Формирование упрочняющих наноструктурированных покрытий методами электронно-лучевой обработки. // Физикохимия поверхности и защита материалов. - 2012. - Том 48, N2. - С.201-212.

[406] 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.

[407] 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.

[408] Бабайлов С.П., Горюнова А.В., Дудников А.В. Магниторезонансные термосенсорные реагенты на основе парамагнитных трисдиизобутилдитиофосфатных комплексов европия (iii) с 2,2 – бипиридиллом для контроля температуры в растворах. // Журнал структурной химии. – в печати.

[409] Бехтенов Е.А., Карпов Г.В. Автоматизированный стенд для измерения характеристик электростатических датчиков положения пучков заряженных частиц. // Вестник НГУ. Новосибирск. Серия Физика. 2012. том 7, выпуск 4, с.49.

[410] Smaluk V., Sukhanov D., Oreshonok V., Cherepanov V., and Kiselev V. Feedback for suppression of single-bunch transverse instability in electron-positron storage rings. // Journal of Instrumentation. - Jan 2012, Vol. 7. - P01007.

[411] Volk I., Hansen S., Johnson T., Jostlein H., Kiper T., Shiltsev V., Chuprya A., Kondaurov M., Medvedko A., Parkhomchuk V., Singatulin S., Stetler L., Van Beek J., Fratta D., Roberts J., Wang H. Hydrostatic level sensors as high precision ground motion instrumentation for Tevatron and other energy frontier accelerators. // Journal of Instrumentation (JINST). - 2012. - Vol.7. - P01004.

[412] Беликов О.В., Веремеенко В.Ф., Козак В.Р., Медведко А.С., Купер Э.А. Семейство контроллеров СЕАС для управления источниками питания ускорительно-накопительных комплексов. // Вестник НГУ. Серия: Физика. - 2012. - Т.7, N.4. - С.43-48.

[413] Abakumova E., Anashin V., Balewski K., Boespflug R., Gusev G., Levichev E., Krasnov A., Kuzminykh V., Nagorny B., Pupkov Yu., Semenov A., Smaluk V., Tischer M., Wedekind H.-P., Zapfe K., Zhukov A., Zolotarev K. Performance of the vacuum system for the PETRA III damping wiggler section. // Vacuum. - February 2012. - Vo.86, Issue 7. - p.822-826.

[414] Abakumova E., Achasov M., Dong H., Qu H., Krasnov A., Kosarev A., Muchnoi N., Pyata E., Xiao Q.,

Mo X., Wang Y., Zhukov A. Vacuum chamber for the measurement system of the beam energy. // Physics Procedia, The 18th International Vacuum Congress (IVC-18). - 2012. - Vol.32. - p.753-756.

[415] Anashin V., Bozhko Y., Belova L., Boeckmann T., Kholopov M., Konstantinov V., Petersen B., Pivovarov S., Pyata E., Sellmann D., Wang X.L., Zhirnov A., Zolotov A. Test stands for testing serial XFEL accelerator modules. // Advances in Cryogenic Engineering, Vols 57A and 57B. Book Series: AIP Conference Proceedings, Volume: 1434, Pages: 1100-1107 DOI: 10.1063/1.4707030, Published: 2012.

[416] Valishev A., Alexahin Yu., Lebedev V., Shatilov D. Simulation of beam-beam effects and Tevatron experience. // JINST (Proc. of EPAC08, Genoa, Italy). - 2012. - Vol.7. - P12002. [<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/e08/papers/thym01.pdf>].

[417] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N., Nikolaev I., et al. Precision measurements of branching fractions for $\psi \rightarrow \pi^0 J/\psi$ and $\eta J/\psi$. // Phys. Rev. D. - 2012. - Vol.86. - p.092008. [arXiv:1210.3746 [hep-ex]].

[418] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N., Nikolaev I., et al. Study of $\psi(3686) \rightarrow \pi^0 h_c$, $h_c \rightarrow \gamma \eta_c$ via η_c exclusive decays. // Phys. Rev. D. - 2012. - Vol.86. - p.092009. [arXiv:1209.4963 [hep-ex]].

[419] M.N. Achasov, V.E. Blinov, Xiao Cai, Cheng-Dong Fu, ..., N.Yu. Muchnoi, I.B. Nikolaev, A.G. Shamov, K.Yu. Todyshev, et al. A scenario for high accuracy tau mass measurement at BEPC-II. // Chin. Phys. C. - 2012. - Vol.36. - p.573-577. [<http://inspirehep.net/record/1182384>].

[420] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N., Nikolaev I., et al. Measurement of χ_{cJ} decaying into $p \bar{n}$ and $p \bar{n} \pi^+ \pi^-$. // Phys. Rev. D. - 2012. - Vol.86. - p.052011. [arXiv:1208.3721 [hep-ex]].

[421] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N., Nikolaev I., et al. Experimental study of ψ' decays to $K^+ K^- \pi^0$ and $K^+ K^- \eta$. // Phys. Rev. D. - 2012. - Vol.86. - p.072011. [arXiv:1208.2320 [hep-ex]].

[422] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N., Nikolaev I., et al. Observation of $e^+ e^- \rightarrow \eta J/\psi$ at center-of-mass energy $\sqrt{s} = 4.009$ GeV. // Phys. Rev. D. - 2012. - Vol.86. - p.071101. [arXiv:1208.1857 [hep-ex]].

[423] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N., Nikolaev I., et al. Observation of χ_{cJ} decays to $\Lambda \bar{\Lambda} \pi^+ \pi^-$. Phys. Rev. D. - 2012. - Vol.86. - p.052004. [arXiv:1207.5646 [hep-ex]].

[424] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N., Nikolaev I., et al. Determination of the number of J/ψ events with $J/\psi \rightarrow$ inclusive decays. // Chin. Phys. C. - 2012. - Vol.36. - p.915-925.

[425] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N., Nikolaev I., et al. First observation of the

isospin violating decay $J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Sigma}^0 + c.c.$ // Phys. Rev. D. - 2012. - Vol.86. - p.032008. [arXiv:1207.1201 [hep-ex]].

[426] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N., Nikolaev I., et al. Study of $J/\psi \rightarrow p \bar{p}$ and $J/\psi \rightarrow n \bar{n}$. // Phys. Rev. D. - 2012. - Vol.86. - p.032014. [arXiv:1205.1036 [hep-ex]].

[427] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N., Nikolaev I., et al. Evidence for the direct two-photon transition from $\psi(3686)$ to J/ψ . // Phys. Rev. Lett. - 2012. - Vol.109. - p. 172002. [arXiv:1204.0246 [hep-ex]].

[428] Vostrikov V.A., Kiselev V.A., Levichev E.B., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Sinyatkin S. A project for synchrotron with electron cooling for cancer therapy. // Phys. Part. Nucl. Lett. - 2012. - Vol.9. - p.429-432.

Доклады на конференциях

[429] Knyazev B.A. Experiments in terahertz optics: a review of new results at Novosibirsk free electron laser. // 20th Intern. Conf. on Advanced Laser Technologies ALT'12, 2 - 6 Sept., 2012, Thun, Switzerland: Book of Abstracts - Thun: Inst. of Applied Laser, 2012. - p.143-144.

[430] Astrelin V.T., Burdakov A.V., Kandaurov I.V., Karpov I.E., Trunev Yu.A. Conceptual design and numerical simulation of long-pulsed 1-kA electron beam source for open magnetic traps. // 3rd Intern. Congress on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter, High Current Electronics and Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, Tomsk, 2012: Abstracts. - Tomsk: Inst. of High Current Electronics SB RAS, 2012. - p.64-165.

[431] Polosatkin S.V., Burdakov A.V., Grishnyaev E.S., Konstantinov S.G., Shoshin A.A. Freak structures on the surface of copper target irradiated by ion beam. // 3rd Intern. Congress on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter, High Current Electronics and Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, Tomsk, 2012: Abstracts. - Tomsk, 2012. - p.397.

[432] Kandaurov I.V., Astrelin V.T., Avrorov A.P., Burdakov A.V., Bykov P.V., Derevyankin G.E., Ivanov A.A., Ivanov I.A., Kurkuchekov V.V., Polosatkin S.V., Rovenskikh A.F., Trunev Yu.A. High power (10 MW), long pulse multiaperture electron beam injector with plasma emitter designed for beam-plasma experiments. // 3rd Intern. Congress on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter, High Current Electronics and Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, Tomsk, 2012: Abstracts. - Tomsk: Inst. of High Current Electronics SB RAS, 2012. - p.169.

[433] Zhmurikov E.I., Stankus S.V., Yatsuk O.S., Tecchio L.B. Thermal expansion of artificial graphites in the temperature range of 293-1650K. // 3rd Intern. Congress on Radiation Physics and Chemistry of

Condensed Matter, High Current Electronics and Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, Tomsk, 2012: Abstracts. - Tomsk, 2012. - p.326-327.

[434] Kubarev V.V. Detailed observation of modulation instability on THz NovoFEL [Electronic resource]. // IRMMW-THz 2012: 37th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, University of Wollongong, Australia, Sept. 23 - 28, 2012. - S.I, 2012.

[435] Ginzburg N.S., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Zaslavsky V.Yu., Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Sinitsky S.L., Thumm M. Generation of powerful spatial coherent radiation in masers and lasers with two-dimensional distributed feedback [Electronic resource]. // IRMMW-THz 2012: 37th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, University of Wollongong, Australia, Sept. 23 - 28, 2012. - S.I, 2012.

[436] Kulipanov G.N. High power NovoFEL: developments and new results. // IRMMW-THz 2012: 37th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, University of Wollongong, Australia, Sept. 23 - 28, 2012. - S.I, 2012.

[437] Eom K.H., Peltek S.E., Popik V.M., Jeong Y.U., Kwon O.S., Park W.Y., Lee W.S., So J.H., Park G.S. Irradiative damage characterization of a lysozyme during high-power THz ablation using MALDI-TOF mass spectrometry [Electronic resource]. // IRMMW-THz 2012: 37th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, University of Wollongong, Australia, Sept. 23 - 28, 2012. - S.I, 2012.

[438] Knyazev B.A., Choporova Yu.Yu., Gerasimov V.V., Vlasenko M.G., Pavlyev V.S., Volodkin B.O., Agafonov A.N., Tukmakov K.N., Kaveev A.K., Kropotov G.I., Tsygankova E.V., Stupak M.F., Palchikova I.G. Study of diffractive optical elements using high-power radiation of Novosibirsk terahertz free electron laser [Electronic resource]. // IRMMW-THz 2012: 37th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, University of Wollongong, Australia, Sept. 23 - 28, 2012. - S.I, 2012.

[439] Gerasimov V.V., Cherkassky V.S., Knyazev B.A., Kotelnikov I.A., Mitina N.A., Nikitin A.K., Zhizhin G.N. Study of surface plasmons travelling along straight and curved metal-dielectric interfaces: experiment and theory [Electronic resource]. // IRMMW-THz 2012: 37th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, University of Wollongong, Australia, Sept. 23 - 28, 2012. - S.I, 2012. Report Tue-A4-4.

[440] Sinitsky S.L., Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Stepanov V.D., Ginzburg N.S., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Zaslavsky V.Yu., Thumm M. Synchronous generation of powerful 4-mm radiation in a two-channel planar FEM [Electronic resource]. // IRMMW-THz 2012: 37th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, University of Wollongong, Australia, Sept. 23 - 28, 2012. - S.I, 2012.

[441] Kubarev V.V., Chesnokov E.N., Koshlyakov P.V. Ultrafast high-resolution THz time-domain spectroscopy [Electronic resource]. // IRMMW-THz 2012: 37th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, University of Wollongong, Australia, Sept. 23 - 28, 2012. - S.1, 2012.

[442] Thumm M.K.A., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Burdakov A.V., Ginzburg N.S., Ivanov I.A., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Paulish A.G., Peskov N.Yu., Polosatkin S.V., Popov S.A., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sergeev A.S., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Stepanov V.D., Vyacheslavov L.N., Zaslavsky V.Yu. Sub-terahertz emission by magnetized plasma at two-stream instability of REB and by two-channel planar FEM with combined electrodynamic system. // Proc. of the 4th Intern. Workshop on Far-Infrared Technologies (IW-FIRT 2012), March 7 - 9, 2012, University of Fukui, Japan. - Fukui: Univ. of Fukui, 2012. - p.7-17.

[443] Tolochko B., Zhogin I., Kulipanov G., Aulchenko V., Ten K., Titov V. New possibility of XFEL for shock compression and detonation investigation. // Science at FELs. SRI 2012 Satellite Meeting, 15 - 18 July, 2012, DESY in Hamburg, Germany: Conference Programme, Useful information and Book abstr. - Hamburg: DESY, 2012. - Poster number: 37.

[444] Miginsky S., Park S., Lee K., Jang Kyu-Ha, Jeong Yo.Uk, Vinokurov N. Activities in World Class Institute Center in KAERI. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012.

[445] Pustovarov V.A., Kortov V.S., Zinin E.I. Low temperature luminescence of nanostructured $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ crystals in spectral region of 140-900 nm under VUV and soft X-ray excitations. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2012. - p.25.

[446] Knyazev B.A., Cherkassky V.S., Choporova Yu.Yu., Gerasimov V.V., Kotelnikov I.A., Nikitin A.K., Vlasenko M.G. Optical experiments at NovoFEL facility. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - p.13-14.

[447] Veber S.L., Maryunina K.Yu., Sheglov M.A., Kubarev V.V., Ovcharenko V.I., Bagryanskaya E.G. The influence of intense THz radiation on spin state of photo-switchable complex $\text{Cu}(\text{HFAC})_2 \cdot \text{L}^{\text{PR}}$. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодеж-

ная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - p.17.

[448] Легкодымов А.А., Кондратьев В.И., Машковцев М.Р., Брянская А.В., Пельтек С.Е., Альтапова В.Р., Simon R. Анализ химических элементов микробиологических сообществ основанный на корреляции оптических и рентгеновских изображений. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.99-100.

[449] Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В., Максимовская В.В., Ivo Zizak. Геохимия годового цикла осадконакопления в оз. Шира (Хакасия) по данным сканирующего рентгенофлуоресцентного микроанализа с пространственным разрешением 20 - 200 мкм на пучках синхротронного излучения накопителей ВЭПП-3 и BESSI-II. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.76-77.

[450] Попова А.А., Собачкин А.В., Назаров И.В., Яковлев В.И., Логинова М.В., Ситников А.А., Шарафутдинов М.Р., Ляхов Н.З. Динамическая дифрактометрия фазовых превращений при высокотемпературном синтезе в порошковых механо-активированных системах в условиях объемного воспламенения. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.59-60.

[451] Тимченко Н.А., Аумаликова М.Н., Гольденберг Б.Г., Литвин С.В., Юрченко В.И. Изготовление регулярных структур полимерных мембран методом полимеризации мономера на порообразующей матрице. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.95-96.

[452] Ракшун Я.В., Чернов В.А., Косов А.В., Мезенцев Н.А., Сороколетов Д.С. Измерение положения пучка СИ с микронной точностью при помощи датчика на основе зеркал ПВО. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга

тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.101-102.

[453] Федотов М.Г., Шарафутдинов М.Р. Исследование на пучках СИ методом малоуглового рассеяния ультрадисперсного серебра, полученного ударно-волновым синтезом в криогенных условиях. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.57-58.

[454] Демидова Е.В., Горячковская Т.Н., Малуп Т.К., Банников С.В., Попик В.М., Семенов А.И., Пельтек С.Е. Исследование нетермического воздействия терагерцового излучения на гено-сенсорные клетки *E.coli/pKatg-gfp* и *E.coli/pCopA-gfp*. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.114-115.

[455] Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Гольденберг Б.Г. Исследование свойств гибридного фотополимерного материала для записи дифракционных микроструктур. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера: СЦСТИ, 2012. - С.124.

[456] Собачкин А.В., Попова А.А., Макарова А.А., Яковлев В.И., Логинова М.В., Ситников А.А., Толочко Б.П., Ляхов Н.З. Комплекс индукционного высокочастотного нагрева порошковых механо-активированных составов для исследования реагирующих СВС-систем методом динамической дифрактометрии. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.91-92

[457] Резникова Е.Ф., Гольденберг Б.Г., Кондратьев В.И., Кулипанов Г.Н., Корольков В.П., Насыров Р.К. ЛИГА технология для синтеза трёхмерных дифракционных преломляющих интраокулярных линз. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.90-91.

[458] Резникова Е.Ф., Гольденберг Б.Г., Кондратьев В.И., Кулипанов Г.Н., Корольков В.П., Насыров Р.К. ЛИГА технология для синтеза трёхмерных

дифракционных преломляющих интраокулярных линз. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.98-99.

[459] Васильева А.А., Грузинов А.Ю., Забелин А.В., Ильин К.Д., Симонова М.А., Подпрятков С.С., Легкодымов А.А., Сигаева М.В., Сеницына А.А., Вазина А.А. Методические аспекты исследования биологических тканей методами SAXS/WAXS дифракции и рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.48.

[460] Скуридин Г.М., Чанкина О.В., Куценогий К.П., Легкодымов А.А., Креймер В.К. Микроэлементарный состав тканей облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.). // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.68.

[461] Аульченко В.М., Жуланов В.В., Тен К.А., Толочко Б.П., Шехтман Л.И. Многострочный кремниевый микрополосковый детектор для излучения взрывных процессов на пучке СИ. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.84.

[462] Федотов М.Г. Моделирование перестраиваемого спектрального рентгеновского детектора СИ с временным разделением полос. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.87.

[463] Ракшун Я.В., Дарьин А.В., Сороколетов Д.С., Холопов М.А. Модернизация станции РФА-СИ для развития метода двумерного сканирующего микроанализа. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.102.

- [464] Гольденберг Б.Г., Резникова Е.Ф., Лемзяков А.Г. Модернизация станции СИ "LIGA" на накопителе ВЭПП-3 для прямого формирования глубоких микроструктур. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.95.
- [465] Вазина А.А., Кулипанов Г.Н. Молекулярные и наноструктурные особенности биологических тканей в различных функциональных состояниях. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.47.
- [466] Шевченко О.А., Арбузов В.С., Винокуров Н.А., Власенко М.Г., Воблый П.Д., Волков В.Н., Гетманов Я.В., Горникер Е.И., Дейчули О.И., Дементьев Е.Н., Довженко Б.А., Кондаков А.А., Князев Б.А., Козак В.Р., Козырев Е.В., Колобанов Е.И., Кубарев В.В., Кулипанов Г.Н., Купер Э.А., Купцов И.В., Куркин Г.Я., Медведев Л.Э., Мироненко Л.А., Овчар В.К., Персов Б.З., Пилан А.М., Попик В.М., Репков В.В., Саликова Т.В., Седяров И.К., Сердобинцев Г.В., Середняков С.С., Скороход Д.А., Скринский А.Н., Созинов Г.И., Тарарышкин С.В., Ческидов В.Г., Чернов К.Н., Щеглов М.А. Новосибирский лазер на свободных электронах - текущее состояние дел и перспективы развития. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.12.
- [467] Жогин И.Л., Жуланов В.В., Титов В.М. Об алгоритме определения координаты фотона в рентгеновском детекторе ОД-3М. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.78.
- [468] Васильев А.А., Пальчиков Е.И., Кубарев В.В., Чесноков Е.Н., Кошляков П.В., Долгих А.В., Красников И.Ю., Прууэл Э.Р., Тен К.А. О работах по исследованию стационарных и нестационарных волн горения водородо-кислородной смеси на терагерцовом Новосибирском лазере свободных электронов. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.97-98.
- [469] Николенко А.Д., Горловой А.В., Ивлешкин Д.В., Легкодымов А.А., Лях В.В., Машковцев М.Р., Пиндюрин В.Ф., Шадрин Н.С. Разработка аппаратно-методического обеспечения для проведения метрологических работ в мягком рентгеновском и ВУФ излучении с использованием синхротронного излучения в СЦСТИ. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.94.
- [470] Генцелев А.Н., Гольденберг Б.Г., Лемзяков А.Г., Кондратьев В.И., Зелинский А.Г. Рентгеношаблоны для изготовления терагерцовой оптики. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.92.
- [471] Генцелев А.Н., Кондратьев В.И., Зелинский А.Г. Рентгеношаблоны на основе эпоксидаграфита. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.89-90.
- [472] Генцелев А.Н., Гольденберг Б.Г., Кондратьев В.И., Лемзяков А.Г., Пиндюрин В.Ф. Рентгеношаблоны с рентгенорезистивным маскирующим слоем. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.89.
- [473] Кубарев В.В., Чесноков Е.Н., Кошляков П.В. Сверхбыстрая time-domain спектроскопия высокого разрешения на Новосибирском терагерцовом лазере на свободных электронах. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.21.
- [474] Машковцев М.Р., Николенко А.Д., Кондратьев В.И., Василенко В.С., Легкодымов А.А. Свободновисящие рентгеновские пленки-фильтры с окнами прозрачности в диапазоне 15 - 2000 ЭВ. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга

тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.97.

[475] Резникова Е.Ф., Кондратьев В.И., Гольденберг Б.Г. Смачиваемость ЛИГА полимеров микрофлюидных биохимических модулей. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.100-101.

[476] Пальчиков Е.И., Долгих А.В., Кондратьев В.И., Матросов А.Д. Спектрозональная цифровая рентгеновская диагностика взрывных процессов на основе ImagaPlate-детекторов разделенных поглотителем. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.56-57.

[477] Корнеев В.Н., Шлектарев В.А., Забелин А.В., Ланина Н.Ф., Аульченко В.М., Толочко Б.П., Арискин Н.И., Вазтна А.А. Статус станций на базе рентгенооптических трансфокаторов для исследования биологических наноструктур и экспериментальные результаты на синхротронном излучении. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.81.

[478] Тен К.А., Прууэл Э.Р., Лукьянчиков Л.А., Ефремов Б.П., Беспалов Е.В., Толочко Б.П., Жуланов В.В., Шехтман Л.И. Ударное сжатие наноструктурного SiO₂ аэрогеля. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.105.

[479] Шадрин Н.С., Николенко А.Д. Фотоэмиссионный монитор пучка СИ для метрологической станции "Космос". // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.100.

[480] Герасимов В.В., Князев Б.А., Котельников И.А., Митина Н.А., Никитин А.К., Жижин Г.Н. Характеристики поверхностных плазмонов, распространяющихся вдоль границы металл-диэлектрик-воздух. // XIX Национальная

конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.79.

[481] Маркова Ю.Н., Кербер Е.В., Максимовская В.В., Золотарев К.В. Элементарный состав донных отложений озер как показатель природно-климатических условий их формирования. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.67.

[482] Азаров И.А., Швец В.А., Прокопьев В.Ю., Дулин С.А., Чопопова Ю.Ю., Рыхлицкий С.В., Князев Б.А. Эллипсометрия в терагерцовом диапазоне с помощью лазера на свободных электронах. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, Новосибирск: книга тезисов. - Новосибирск: ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, 2012. - С.85.

[483] Gusev I.A., Senkov D.V., Erokhin A.I., Kolmogorov V.V., Medvedko A.S., Potapov S.I., Pureskin D.N. 3-channel current source with channel output current up to 180 A and output voltage up to 180 V [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.509.

[484] Bezuglov V., Bryazgin A., Factorovich B., Kokin E., Radchenko V., Shtarklev E., Vlasov A. Beam extraction for industrial electron accelerator ILU-14 [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.161.

[485] Bekhtenev E.A., Cherepanov V.P., Karpov G.V., Reva V.B., Shubin E.I., Skorobogatov D.N. Beam position monitor system for 2 MeV electron cooler for COSY [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.608. WEPPD028.

[486] Shevchenko O.A., Arbuzov V.S., Chernov K.N., Dementyev E.N., Dovzhenko B.A., Getmanov Ya.V., Gorniker E.I., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kondakov A.A., Kozak V.R., Kozyrev E.V., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kuper E.A., Kuptsov I.V., Kurkin G.Ya., Medvedev L.E., Mironenko L.A., Ovchar V.K., Persov B.Z., Pilan A.M., Popik V.M., Repkov V.V., Salikova T.V., Scheglov M.A., Sedlyarov I.K., Serdobintsev G.V., Serednyakov S.S., Skrinsky A.N.,

- Tararyshkin S.V., Tcheskidov V.G., Vinokurov N.A., Vlasenko M.G., Vobly P.D., Volkov V.N. Budker INP free electron laser facility - current status and future prospects [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - S.I, 2012. - p.136.
- [487] Kuznetsov A., Aleynik V., Sorokin I., Taskaev S., Tiunov M., Shudlo I. Calibration testing of the stripping target of the vacuum insulated tandem accelerator [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.560-562.
- [488] Chernousov Yu., Ivannikov V., Shebolaev I., Levichev E., Pavlov V. Characteristics of the model of linear accelerator based on parallel coupled accelerating structure with beam loading [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.164.
- [489] Yaminov K.R., Belikov O.V., Medvedko A.S., Kolmogorov V.V., Erokhin A.I., Singatulin S.R., Karnaev S.E., Cheblakov P.B. Correcting magnet power supplies for the NSLS-II booster [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.500.
- [490] Levichev E. e+e- collider VEPP-4M: status and prospects [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.20.
- [491] Gambaryan V., Starostenko A. Fast kicker [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - S.I, 2012. - p.483.
- [492] Bekhtenev E.A., Cherepanov V.P., Karpov G.V., Styuf A.S. Fast tune measurement system [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.611.
- [493] Volkov V.N., Arbutov V.S., Gorniker E.I., Kolobanov E.I., Krutikhin C.A., Kuptsov I.V., Kurkin G.Ya., Osipov V.N., Petrov V.M., Pilan A.M., Sedlyarov I.K., Scheglov M.A., Vinokurov N.A. First test results of RF gun for the race-track microtron recuperator of BINP SB RAS [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.424.
- [494] Bryzgunov M., Bublely A., Goncharov A., Panasyuk V., Parkhomchuk V., Reva V., Skorobogatov D., Deitrich J., Kamerdzhev V. High voltage electron cooler [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.38. TUXCH01.
- [495] Kuksanov N.K., Golubenko Y.I., Nemytov P.I., Salimov R.A., Fadeev S.N., Lavrukhin A.V., Korchagin A.I., Kogut D.S., Semenov A.V. High voltage ELV accelerators for industrial application (family of accelerators and tendency of development)[Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.227.
- [496] Gusev I.A., Medvedko A.S., Protopopov A.Yu., Pureskin D.N., Senkov D.V. High-voltage source with output voltage up to 110 kV with output current up to 100 mA [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.506.
- [497] Chekavinskiy V.A., Bekhtenev E.A., Gusev I.A., Kondaurov M.N., Kozak V.R., Kuper E.A., Mamkin V.R., Medvedko A.S., Pureskin D.N., Skorobogatov D.N. High voltage terminal in COSY electron cooler [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.503.
- [498] Starostenko A.A., Burdin P., Devyataikina T., Kazantseva E.S., Rybitskaya T.V., Skarbo B.A., Tsyganov A.S. Improvement of quadrupole magnets field quality in serial production [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.486.
- [499] Kuksanov N.K., Fadeev S.N., Kogut D.A. Improving of uniformity of the electron-beam treatment of materials by ELV accelerators [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.557.
- [500] Bragin A.V., Khruschev S.V., Mezentsev N.A., Miginskaya E.G., Poletaev I.V., Shkaruba V.A., Syrovatin V.M., Tsukanov V.M., Volkov A.A., Zolotarev K.V. Indirect cooled superconductive wiggler magnet [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.140.
- [501] Chernousov Yu., Ivannikov V., Shebolaev I., Barnyakov A., Levichev A., Pavlov V. Localisation of the RF breakdown in the parallel coupled accelerating structure [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.281.
- [502] Getmanov Ya.V., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A. Longitudinal stability of ERL with two accelerating RF structures. // XXIII Russian Particle Accelerator

- Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.575.
- [503] Bryzgunov M., Bublely A., Panasyuk V., Parkhomchuk V., Polukhin V., Reva V. Low energy cooler for NICA booster [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.391. TUPPB034.
- [504] Kulipanov G.N., Getmanov Ya.V., Shevchenko O.A., Skrinsky A.N., Vinokurov N.A., Kovalchuk M.V., Korchuganov V.N. MARS: fourth generation X-ray light source based on multiturn energy-recovery linac [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.123.
- [505] Astrelina K., Petrenko A. Measurement of beam parameters in the VEPP-5 damping ring using betatron oscillations decoherence [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.385.
- [506] Batrakov A., Pavlenko A., Chichkov D., Vagin P. Multimode digital integrators for precise magnetic measurements [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.617.
- [507] Karpov G.V., Styuf A.S. New beam position monitor electronics for VEPP-5 preinjector [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RUPAC2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - S.I, 2012. - p.614. [www.jacow.org, WEPPD030].
- [508] Tsyganov A., Batrakov A., Kazantseva E., Pavlenko A., Rybitskaya T., Skarbo B., Shichkov D., Starostenko A., Vobly P. Nonlinear shunting as method of magnetic field correction in quadrupole lenses [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.492. [http://accelconf.web.cern.ch/].
- [509] Makarov A., Aleynik V., Kuznetsov A., Sorokin I., Taskaev S., Tiunov M., Bashkirtsev A., Shchudlo I. Optimization of the negative hydrogen ion beam injection into the tandem accelerator with vacuum insulation [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - S.I, 2012. - p.623-625.
- [510] Rybitskaya T.V., Kazantseva E.S., Skarbo B.A., Starostenko A.A., Tsyganov A.S. Quadrupole harmonics tuning by nose pieces [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.489. [http://accelconf.web.cern.ch/].
- [511] Barnyakov A., Levichev A., Pavlov V., Chernousov Yu., Ivannikov V., Shebolaev I. RF antenna lead [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.284.
- [512] Dudnikov A. Simplified beam line with space charge compensation of low energy ion beam [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.388.
- [513] Tsuganov A., Batrakov A., Kazantseva E., Pavlenko A., Rybitskaya T., Skarbo B., Shichkov D., Starostenko A., Vobly P. Stand for precise measurements of magnetic lenses field quality [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.495. [http://accelconf.web.cern.ch/].
- [514] Berkaev D., Borisov A., Garinov Yu., Kirpotin A., Koop I., Lysenko A., Nesterenko I., Otboev A., Perevedentsev E., Rogovsky Yu., Romanov A., Shatunov P., Shwartz D., Skrinsky A., Shatunov Yu. Status of electron-positron collider VEPP-2000 [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.15-19.
- [515] Eliseev A.V., Kozlov O.S., Meshkov I.N., Sidorin A.V., Smirnov A.V., Trubnikov G.V., Katayama T., Volkov V.N., Kenzhebulatov E.K., Kurkin G.Y., Petrov V.M. Storage, acceleration and short bunched beam formation of $/sab\ 197/AU/sab\ +79/$ ions in the NICA collider [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.30.
- [516] Skorobogatov D., Bryzgunov M., Goncharov A., Gusev I., Kondauronov M., Kozak V., Medvedko A., Parkhomchuk V., Pureskin D., Putmakov A., Reva V., Senkov D. The power supply system for the accelerating column of the 2 MeV electron cooler for COSY [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.512. [WEPPC032].
- [517] Repkov V.V., Kuper E.A., Protopopov A.U., Zharikov A.A. The system for control of an electron beam welding machines [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - S.I, 2012. - p.620.
- [518] Kuper E.A., Kozak V.R., Mamkin V.R., Ovchar V.K., Repkov V.V., Serednyakov S.S., Tararyshkin S.V.,

- Zverev D.A. The system of power supplies, control and modulation of electron gun for free electron laser [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.427.
- [519] Taskaev S., Aleynik V., Bayanov B., Kuznetsov A., Makarov A., Sorokin I., Tiunov M., Bashkirtsev A., Schudlo I., Kamkin M., Kasatov D. Vita based neutron source - status and prospects [Electronic resource]. // XXIII All Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.230-232.
- [520] Sorokin I., Bashkirtsev A., Ivanov A., Kasatov D., Kuznetsov V.A., Taskaev S., Chudaev V. X-ray radiation high-voltage elements of the tandem accelerator with vacuum insulation [Electronic resource]. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference: RuPAC'2012, Sept. 24 - 28, 2012, Saint-Petersburg, Russia: Proc. - Saint-Petersburg, 2012. - p.299-301.
- [521] Аржанников А.В., Бурдаков А.В., Бурмасов В.С., Иванов И.А., Иванцовский М.В., Кузнецов С.А., Меклер К.И., Попов С.С., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Синецкий С.Л., Скляр В.Ф., Тумм М.К.А. Генерация субтерагерцового излучения в экспериментах по нагреву плазмы в соленоиде мощным РЭП. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.63.
- [522] Цидулко Ю.А., Черноштанов И.С. Альфвеновская ионно-циклотронная неустойчивость в ловушке с наклонной инжекцией быстрых ионов. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.56.
- [523] Белых В.В., Полосаткин С.В., Давыденко В.И., Иванов А.А., Капитонов В.А., Мишагин В.В., Воскобойников Р.В., Тиунов М.А., Liu D., Clary R., Fiksel G. Анализатор нейтральных частиц для исследования популяции быстрых ионов в плазме. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.60.
- [524] Беклемишев А.Д. Геликоидальная система для продольного удержания или ускорения плазмы. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.31.
- [525] Иванцовский М.В., Аржанников А.В., Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Бурмасов В.С., Вячеславов Л.Н., Попов С.С., Иванов И.А., Касатов А.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Синецкий С.Л., Судников А.В., Суляев Ю.С., Скляр В.Ф. Изучение быстрых флуктуаций плотности при инжекции РЭП в плазму многопробочной ловушки ГОЛ-3. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.35.
- [526] Белов В.П., Иванов А.А., Капитонов В.А., Прохоров И.А., Сорокин А.В., Ткачев А.А. Ионно-оптическая система диагностического инжектора атомов водорода стелларатора W7-X. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.40.
- [527] Багрянский П.А., Зайцев К.В., Коржавина М.С., Приходько В.В. Магнитные измерения на установке ГДЛ. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва, 2012. - С.32.
- [528] Попов С.С., Бурдаков А.В., Иванов А.А., Котельников И.А. Нерезонансный фотонный накопитель для нейтрализации мощных пучков отрицательных ионов. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.232.
- [529] Бурдаков А.В., Авроров А.П., Аржанников А.В., Астрелин В.Т., Баткин В.И., Беклемишев А.Д., Белых В.В., Бурмасов В.С., Вячеславов Л.Н., Гавриленко Д.Е., Гришняев Е.С., Деревянкин Г.Е., Попов С.С., Иваненко В.Г., Иванов А.А., Иванов И.А., Иванцовский М.В., Калинин П.В., Кандауров И.В., Кузнецов С.А., Куклин К.Н., Куркучеков В.В., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Синецкий С.Л., Степанов В.Д., Судников А.В., Суляев Ю.С., Скляр В.Ф., Сорокина Н.В., Трунев Ю.А., Шошин А.А. Перспективы аксиально-симметричной многопробочной ловушки. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.29.
- [530] Аржанников А.В., Котельников И.А. Плазменные колебания при накачке ленгмюровской турбулентности сильноточным РЭП как лабораторный источник мощного электромагнитного излучения терагерцового диапазона. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.221.
- [531] Анисеев А.В., Багрянский П.А., Бредихин С.А., Лежнин С.И., Приходько В.В., Фролов С.А., Юров Д.В. Плазменный источник нейтронов на основе газодинамической ловушки для ядерных энергетических установок. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.30.
- [532] Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Кандауров И.В., Карпов И.Е. Проект миллисекундного инжектора электронов на основе плазменного

эмиттера для нагрева плазмы в линейных ловушках. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.230.

[533] Максимов В.В., Иванов А.А., Пинженин Е.И., Пчеляков О.П., Тишковский Е.Г., Чистохин И.Б. Регистрация профилей протоков частиц камерой обскурой с линейкой диодов на установке ГДЛ. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.59.

[534] Вячеславов Л.Н., Иванцовский М.В., Касатов А.А., Попов С.С., Пурьга Е.А., Хильченко А.Д. Система томсоновского рассеяния для измерения быстрой динамики плотности в экспериментах на установке ГОЛ-3. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.33.

[535] Багрянский П.А., Амиров В.Х., Коваленко Ю.В., Савкин В.Я., Тумм М., Яковлев Д.В. Система ЭЦР нагрева плазмы для установки ГДЛ. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.64.

[536] Багулов Д.С., Котельников И.А. Теория многофотонной и туннельной ионизации в бихроматическом поле. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.258.

[537] Старокожев С.А. Томографическая диагностика плазмы на нагревных пучках установки ГДЛ. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.55.

[538] Аникеев А.В., Багрянский П.А., Донин А.С., Зайцев К.В., Коваленко Ю.В., Коржавина М.С., Лизунов А.А., Максимов В.В., Пинженин Е.И., Приходько В.В., Пушкарева А.Н., Солдаткина Е.И., Соломахин А.Л., Савкин В.Я. Улучшение продольного удержания плазмы и дополнительный нагрев электронов в газодинамической ловушке. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.34.

[539] Куркученков В.В., Астрелин В.Т., Кандауров И.В., Трунев Ю.А. Формирование интенсивного электронного пучка в многоапертурном диоде с плазменным эмиттером и его транспортировка сквозь магнитную пробку. // XXXIX Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.266.

[540] Астрелин В.Т., Карпов И.Е. Формирование ленгмюровского слоя в диодах с плазменными электродами. // XXXIX Междунар. (Звенигород.)

конф. по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февр. 2012. - Москва: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2012. - С.257.

[541] Logachev P.V. LIA-2 as a results of new approach in linear induction accelerators design. // Забыхинские научные чтения: XI Междунар. конф., Снежинск, 16 - 20 апреля, 2012: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2012. - р.140.

[542] Никитин О.А., Столбиков М.Ю., Ахметов А.Р., Базаров П.С., Железкин Д.А., Хренков С.Д., Каргин А.А., Шубин К.С., Сысков Д.В., Акимов А.В., Бак П.А., Батазова М.А., Батраков А.М., Беликов О.В., Боймельштейн Ю.М., Болховитянов Д.Ю., Елисеев А.А., Еманов Ф.А., Фатькин Г.А., Корепанов А.А., Косарев А.Н., Куленко Я.В., Кузнецов Г.И., Логачев П.В., Николаев И.В., Оттмар А.В., Пачков А.А., Панов А.Н., Павлов О.А., Пурескин Д.Н., Рувинский Е.С., Старостенко Д.А., Суворов С.О., Токарев Ю.Ф., Торшин А.П., Тур С.В. Измерение параметров электронного пучка в инжекторе ЛИУ (ЛИУ-2). // Забыхинские научные чтения: XI Межд. конф., Снежинск, 16 - 20 апреля, 2012: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2012. - С.168 - 169.

[543] Акимов А.В., Бак П.А., Батазова М.А., Батраков А.М., Беликов О.В., Боймельштейн Ю.М., Болховитянов Д.Ю., Елисеев А.А., Еманов Ф.А., Фатькин Г.А., Корепанов А.А., Косарев А.Н., Куленко Я.В., Кузнецов Г.И., Логачев П.В., Николаев И.В., Оттмар А.В., Пачков А.А., Панов А.Н., Павлов О.А., Пурескин Д.Н., Рувинский Е.С., Старостенко Д.А., Суворов С.О., Токарев Ю.Ф., Торшин А.П., Тур С.В., Никитин О.А., Столбиков М.Ю., Ахметов А.Р., Базаров П.С., Железкин Д.А., Хренков С.Д., Каргин А.А., Шубин К.С., Сысков Д.В. ЛИУ-2 - реализация нового подхода в создании линейных индукционных ускорителей. // Забыхинские научные чтения: XI Междунар. конф., Снежинск, 16 - 20 апреля, 2012: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2012. - С.139.

[544] Аникеев А.В., Багрянский П.А., Бредихин С.А., Лежнин С.И., Прибатурин Н.А., Приходько В.В., Фролов С.А., Цидулко Ю.А., Юров Д.В. Моделирование нейтронно-физических процессов в гибридной системе с источником нейтронов на базе плазменной ловушки открытого типа. // Забыхинские научные чтения: XI Междунар. конф., Снежинск, 16 - 20 апреля, 2012: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2012. - С.142.

[545] Толочко Б.П., Жогин И.Л., Мезенцев Н.А., Левичев Е.Б., Кулипанов Г.Н., Аульченко В.М., Тен К.А. Новые возможности диагностики детонационных процессов на экспериментальной станции синхротронного излучения 100-полюсного сверхпроводящего вигглера накопителя ВЭПП-4. // Забыхинские научные чтения: XI Междунар. конф., Снежинск, 16 - 20 апреля, 2012: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2012. - С.71.

[546] Беклемишев А.Д., Бурдаков А.В., Иванов А.А., Иванов И.А., Поступаев В.В., Сеницкий С.Л. Открытая ловушка нового поколения в ИЯФ. //

Забабахинские научные чтения: XI Междунар. конф., Снежинск, 16 - 20 апреля, 2012: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2012. - С.141.

[547] Никитин О.А., Столбиков М.Ю., Ахметов А.Р., Базаров П.С., Железкин Д.А., Хренков С.Д., Каргин А.А., Шубин К.С., Сысков Д.В., Акимов А.В., Бак П.А., Батазова М.А., Батраков А.М., Беликов О.В., Боймелыштейн Ю.М., Болховитянов Д.Ю., Елисеев А.А., Еманов Ф.А., Фаткин Г.А., Корепанов А.А., Косарев А.Н., Куленко Я.В., Кузнецов Г.И., Логачев П.В., Николаев И.В., Оттмар А.В., Пачков А.А., Панов А.Н., Павлов О.А., Пурескин Д.Н., Рувинский Е.С., Старостенко Д.А., Суворов С.О., Токарев Ю.Ф., Торшин А.П., Тур С.В. Подготовка и проведение рентгенографических экспериментов на инжекторе ЛИУ (ЛИУ-2). // Забабахинские научные чтения: XI Междунар. конф., Снежинск, 16 - 20 апреля, 2012: тезисы. Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2012. - С.169 - 170.

[548] Акимов А.В. Система импульсного высоковольтного питания ЛИУ-2. // Забабахинские научные чтения: XI Междунар. конф., Снежинск, 16 - 20 апреля, 2012: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2012. - С.168.

[549] Бродников А.Ф., Черепанов В.Я. Определение действительной температуры кипения воды с помощью реперной точки натрия. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-12. VIII Междунар. науч. конгр., 10 - 20 апр. 2012, Новосибирск: Межд. науч. конф. "Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии": сб. материалов в 2 т. - Новосибирск: СГГА, 2012. - С.174 - 177.

[550] Верхогляд А.Г., Герасимов В.В., Завьялова М.А., Князев Б.А., Макаров С.Н., Ступак М.Ф. Концепция построения ближнепольной сканирующей приставки для терагерцового спектрометра нарушенного полного внутреннего отражения. // Опτικο-информационные измерительные и лазерные технологии и системы: юбилейный сборник избранных трудов КТИ НП СО РАН / Ю.В.Чугуй, ред. - Новосибирск: ГЕО, 2012. - С.409-427. (Предисл. Кулипанова Г.Н. - с.3-6).

[551] Ведерников В.М., Дутов П.М., Кокарев А.И., Кирьянов В.П., Князев Б.А., Кулипанов Г.Н., Никитин В.Г., Пальчикова В.Г., Саметов А.Р., Ступак М.Ф., Чугуй Ю.В., Чуканов В.В. Синтез пропускающих дифракционных элементов для лазера на свободных электронах. // Опτικο-информационные измерительные и лазерные технологии и системы: юбилейный сборник избранных трудов КТИ НП СО РАН / Ю.В.Чугуй, ред. - Новосибирск: ГЕО, 2012. - С.360-374. (Предисл. Кулипанова Г.Н. - с.3-6).

[552] Лотов К.В., Маслов В.И., Онищенко И.Н., Яровая И.П. Коэффициент трансформации при возбуждении нелинейной кильваторной волны в плазме, профилированной последовательностью электронных сгустков с линейно нарастающей

интенсивностью. // X конференция по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям, 27 февраля - 2 марта 2012, Харьков: тез. докл. - Харьков: ННЦ ХФТИ, 2012. - С.87.

[553] Burdakov A.V., Ivanov I.A., Kuklin K.N., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Shoshin A.A. Surface modification and droplet formation of tungsten under hot plasma irradiation at the GOL-3. // 20th Intern. Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, May 21 - 25, 2012, Eurogress Aachen, Germany, P2-011. [https://www.congressa.de/PSI2012/files/abstracts/P2-011_Burdakov_PSI2012.pdf].

[554] Кандауров И.В., Куркученков В.В., Трунев Ю.А. Формирование интенсивного электронного пучка в мультиапертурном источнике с плазменным эмиттером и его транспортировка в магнитном поле пробочной конфигурации. // Труды 4-го Межд. Крейнделевского семинара "Плазменная эмиссионная электроника", 25 - 30 июня 2012, г. Улан-Удэ. - Изд-во БНЦ СО РАН, Улан-Удэ. - 2012. - С.67-73.

[555] Астрелин В.Т., Карпов И.В. Моделирование диода с плазменными границами с учетом эмиссионных характеристик катодной и анодной плазмы. // Труды 4-го Межд. Крейнделевского семинара "Плазменная эмиссионная электроника", г. Улан-Удэ, 25 - 30 июня 2012. - Изд-во БНЦ СО РАН, Улан-Удэ, 2012. - С.74-80.

[556] Григорьев С.В., Астрелин В.Т., Кандауров И.В., Коваль Н.Н., Козырев А.В., Москвин П.В., Тересов А.Д. Исследование генерации и транспортировки субмиллисекундного электронного пучка, формируемого в диоде с плазменным катодом с сеточной стабилизацией плазменной границы и плазменным анодом с открытой подвижной границей. // Труды 4-го Межд. Крейнделевского семинара "Плазменная эмиссионная электроника", Улан-Удэ, 25 - 30 июня 2012. - Изд-во БНЦ СО РАН, Улан-Удэ. - 2012. - С.81-87.

[557] Астрелин В.Т., Карпов И.В. Распределение потенциала в плоском диоде с плазменным катодом и потоком анодной плазмы. // Труды 4-го Межд. Крейнделевского семинара "Плазменная эмиссионная электроника", Улан-Удэ, 25 - 30 июня 2012. - Изд-во БНЦ СО РАН, Улан-Удэ. - 2012. - С.88-90.

[558] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Ivanov I.A., Mekler K.I., Kandaurov I.V., Kurkuchekov V.V., 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., Timofeev I.V., Vyacheslavov L.N. Experimental and theoretical investigations of emission of high power mm-wave and THz-radiation from magnetized plasma at two-stream instability of high current electron beams. // 24th Joint Russian-German Meeting on ECRH and Gyrotrons, June 11 - 15, 2012, Nizhny Novgorod, Russia.

[559] Thumm, M., Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Ginzburg

N.S., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Zaslavsky V.Yu.. Coherent radiation from two-channel planar FEM with 2D distributed feedback. // 24th Joint Russian-German Meeting on ECRH and Gyrotrons, June 11 - 15, 2012, Nizhny Novgorod, Russia.

[560] Arzhannikov A.V., Timofeev I.V. Theoretical considerations on powerful terahertz emission from strongly turbulent plasmas driven by a relativistic electron beam. // 2-я Межд. конференция "Терагерцовое и микроволновое излучение: генерация, детектирование и применения" (ТЕРА-2012), 20 - 22 июня 2012, Москва, Россия. [<http://tera2012.phys.msu.ru>].

[561] Postupaev V.V., Burdakov A.V., Ivanov I.A., Mekler K.I., Rovenskikh A.F., Polosatkin S.V., Sinitsky S.L., Sorokina N.V., Sudnikov A.V.. Study of plasma rotation in GOL-3 multiple-mirror trap. // 39th EPS Conference and 16th Int. Congress on Plasma Physics, Stockholm, Sweden, 2 - 6 July 2012. [<http://ocs.ciemat.es/EPS2012PAP/pdf/P1.074.pdf>].

[562] Burdakov A.V., Avrorov A.P., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Batkin V.I., Beklemishev A.D., Burmasov V.S., Bykov P.V., Derevyankin G.E., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kandaurov I.V., Kasatov A.A., Kurkuchekov V.V., Kuklin K.N., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Shoshin A.A., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Stepanov V.D., Sudnikov A.V., Sulyaev Yu.S., Timofeev I.V., Trunev Yu.A., and Vyacheslavov L.N. First experiments on injection of high-power long pulse electron beam in multiple-mirror trap GOL-3. // 39th EPS Conference and 16th Int. Congress on Plasma Physics, Stockholm, Sweden, 2 - 6 July 2012. [<http://ocs.ciemat.es/epsicpp2012pap/pdf/PD2.004.pdf>].

[563] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kotelnikov I.A., Kuznetsov S.A., Mekler K.I., Popov S.S., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Timofeev I.V., Thumm M.K.A. Sub-mm wave emission at beam-plasma interaction in a multimirror trap. // 39th EPS Conference and 16th Int. Congress on Plasma Physics, Stockholm, Sweden, 2 - 6 July 2012. [<http://ocs.ciemat.es/epsicpp2012pap/pdf/P5.182.pdf>].

[564] Polosatkin S., Astrelin V., Bazylev B., Beklemishev A., Burdakov A., Gavrilenko D., Huber A., Ivanov A., Ivanov I., Kalinin P., Kandaurov I., Kreter A., Landman I., Postupaev V., Sinitsky S., Shoshin A., Trunev Yu., Thumm M., Unterberg B. GDMT-T: superconducting linear device for PMI studies. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2012. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download/>].

[565] Burdakov A.V., Avrorov A.P., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Batkin V.I., Beklemishev A.D., Burmasov V.S., Bykov P.V., Derevyankin G.E., Ivanenko V.G., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kandaurov I.V., Kasatov A.A., Kuznetsov S.A., Kurkuchekov V.V., Kuklin K.N., Mekler K.I., Polosatkin S.V.,

Popov S.S., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Sudnikov A.V., Sulyaev Yu.S., Timofeev I.V., Trunev A.Yu., Sklyarov V.F., Sorokina N.V., Shoshin A.A., and Vyacheslavov L.N. Development of extended heating pulse operation mode at GOL-3. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2012. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download/>].

[566] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Ivanov I.A., Mekler K.I., Popov A.A., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Stepanov V.D., Timofeev I.V., Thumm M.K.A., Vyacheslavov L.N. Experimental and theoretical investigations of high power sub-millimeter wave emission at two-stream instability of high current REB. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2012. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download/>].

[567] Beklemishev A., Anikeev A., Astrelin V., Bagryansky P., Burdakov A., Davydenko V., Gavrilenko D., Ivanov A., Ivanov I., Ivantsivsky M., Kandaurov I., Polosatkin S., Postupaev V., Sinitsky S., A. Shoshin, Timofeev I., Tsidulko Yu. Novosibirsk project of gasdynamic multiple-mirror trap. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2012. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download/>].

[568] Burdakov A.V., Ivanov A.A., Kruglyakov E.P., Beklemishev A.D. Axially symmetric magnetic mirrors: history of development and future prospects. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2012. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download/>].

[569] Burdakov A.V., Arzhannikov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kandaurov I.V., Kasatov A.A., Kuznetsov S.A., Kurkuchekov V.V., Kuklin K.N., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sklyarov V.F., Sudnikov A.V., Thumm M.K.A., Trunev Yu.A. and Vyacheslavov L.N. Microwave generation during 100 keV electron beam relaxation in GOL-3. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2012. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download/>].

[570] Ivanov A.A., Akhmetov T.D., Beklemishev A.D., Burdakov A.V., Davydenko V.I., Lizunov A.A., Lozhkina A.N., Maximov V.V., Mishagin V.V., Myskin O.K., Prikhodko V.V., Soldatkina E.I., Savkin V.Ya., Shulzhenko G.I., Solomakhin A.L., Tiunov M.A., Trunev Yu.A., Voskoboynikov R.V., Zaytsev K.V. Auxiliary electron heating and plasma control in GDT device with electron beam: the results of initial experiments. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems

for Plasma Confinement, Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2012, P-18. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download/>].

[571] Kurkuchekov V.V., Astrelin V.T., Avrorov A.P., Burdakov A.V., Bykov P.V., Davydenko V.I., Der-
evyankin G.E., Ivanov A.A., Kandaurov I.V., Roven-
skikh A.F., Trunev Yu.A. and Yarovoy V.A. Novel injec-
tor of intense long pulse electron beam for linear plasma
devices. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open Mag-
netic Systems for Plasma Confinement, Tsukuba, Japan,
27 - 31 August 2012, P-19. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download/>].

[572] Sudnikov A.V., Burdakov A.V., Gavrilenko
D.E., Kandaurov I.V., Kurkuchekov V.V., Mekler K.I.,
Rovenskih A.F., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., and
Trunev Yu.A. MHD Activity in GOL-3 during injection
of long-pulse electron beam. // Abstracts of 9th Intern.
Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement,
Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2012. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download/>].

[573] Huber A., Burdakov A., Zlobinski M., Wirtz M.,
Linke J., Mertens Ph., Philipps V., Pintsuk G., Schweer
B., Sergienko G., Shoshin A., Sann U., Unterberg B.
Investigation of the impact on tungsten of transient heat
loads induced by laser irradiation, electron beams and
plasma guns. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open
Magnetic Systems for Plasma Confinement, Tsukuba,
Japan, 2012, O/PMIF-9.

[574] Shoshin A.A., Burdakov A.V., Dobrovolskaya
O.A., Grishnyaev E.S., Ivanov I.A., Kuklin K.N.,
Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Sinitsky S.L., Vasilyev
A.A. Study of materials erosion and modification after
hot plasma irradiation in exit unit of multimirror trap
GOL-3. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open Mag-
netic Systems for Plasma Confinement, Tsukuba, Japan,
2012, P/PMIF-7.

[575] Trunev Yu.A., Astrelin V.T., Avrorov A.P.,
Burdakov A.V., Bykov P.V., Davydenko V.I., Der-
evyankin G.E., Ivanov A.A., Ivanov I.A., Kandaurov
I.V., Kurkuchekov V.V., Mekler K.I., Polosatkin S.V.,
Postupaev V.V., Rovenskih A.F., and Yarovoy V.A.
Multiaperture electron gun with plasma cathode for injec-
tion of electron beam into open plasma trap. // Book of
Abstracts of 4th Euro-Asian Pulsed Power Conference and
19th Intern. Conference on High-Power Particle
Beams (EAPPC 2012/BEAMS 2012), September 30 -
October 4, 2012, Karlsruhe, Germany. - p.109.

[576] Grigoryev S.V., Astrelin V.T., Koval N.N.,
Moskvin P.V., Teresov A.D. Investigation of the genera-
tion and transport of submillisecond electron beam
formed in a diode with a grid plasma cathode and plasma
anode with moveable open boundary. // Book of Ab-
stracts of 4th Euro-Asian Pulsed Power Conference and
19th International Conference on High-Power Particle
Beams (EAPPC 2012/BEAMS 2012), September 30 -
October 4, 2012, Karlsruhe, Germany. - p.114.

[577] Stepanov V., Arzhannikov A., Kalinin P., Sinit-
sky S., Kuznetsov S., Ginzburg N., Peskov N., Sergeev
A., Zaslavsky V., Thumm M. Experimental study of two-
channel planar FEM with 2D distributed feedback. //
Book of Abstracts of 4th Euro-Asian Pulsed Power Con-
ference and 19th Intern. Conference on High-Power Par-
ticle Beams (EAPPC 2012/BEAMS 2012), September 30
- October 4, 2012, Karlsruhe, Germany. - p.121.

[578] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Burmasov
V.S., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A.,
Ivanov I.A., Mekler K.I., Popov S.S., Postupaev V.V.,
Rovenskih A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Stepanov
V.D., Timofeev I.V., Thumm M.K., Vyacheslavov L.N.
Experimental and theoretical investigations of high power
sub-millimeter wave emission from plasma turbulence
pumped by high current REB. // Book of Abstracts of 4th
Euro-Asian Pulsed Power Conference and 19th Intern.
Conference on High-Power Particle Beams (EAPPC
2012/BEAMS 2012), September 30 - October 4, 2012,
Karlsruhe, Germany. - p.126.

[579] Burdakov A.V., Avrorov A.P., Arzhannikov
A.V., Astrelin V.T., Batkin V.I., Beklemishev A.D.,
Burmasov V.S., Bykov P.V., Vyacheslavov L.N., Der-
evyankin G.E., Ivanenko V.G., Ivanov I.A., Ivantsivsky
M.V., Kandaurov I.V., Kasatov A.A., Kuznetsov S.A.,
Kurkuchekov V.V., Kuklin K.N., Mekler K.I., Polosatkin
S.V., Popov S.S., Postupaev V.V., Rovenskih A.F.,
Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Sudnikov A.V., Sulyaev
Yu.S., Timofeev I.V., Sklyarov V.F., Sorokina N.V.,
Shoshin A.A. Experiments on GOL-3 Multiple Mirror
Trap for Fusion Program. // Proc. of 24rd IAEA Fusion
Energy Conference, San Diego, USA, 8-13 October,
2012, EX/P3-29.

[580] Kruglyakov Eh.P., Burdakov A.V., Ivanov
A.A. Fusion Prospects of axisymmetric magnetic mirror
systems. // Proc. of 24rd IAEA Fusion Energy Confer-
ence, San Diego, USA, 8 - 13 October, 2012, OV/P-07.

[581] Fadin V.S. Kernel of the BFKL equation for the
adjoint representation in the next-to-leading order. //
Intern. Workshop "Hadron Structure and QCD: from
LOW to HIGH energies". - July 4 - July 8, 2012,
Gatchina, Russia.

[582] Fadin V.S. Presented talk: On radiative
corrections to electron-proton scattering. // Olympus
Symposium "Experimental and theoretical aspects of the
proton form factors", July 9 - 11, 2012, Gatchina, Russia.

[583] Fadin V.S. Presented talk: NLO BFKL kernel
for the adjoint representation of the gauge group. //
Intern. Workshop "Diffraction 2012", September 11 - 15,
Puerto del Camen, Lanzarote, Spain.

[584] Fadin V.S. Presented talk: Kernels of the BFKL
equation in the next-to-leading order. // Workshop
"Scattering Amplitudes and the Multi-Regge Limit",
October 24 - 26, 2012, Madrid, Spain.

[585] Chernyak V.L. Hard two photon processes $\gamma\gamma \rightarrow$
 $M_2 M_1$ in QCD. // Invited talk given at the Taipei Intern.
Workshop "QCD in Two Photon Processes", 2 - 4

October, 2012, Taipei, Taiwan. [arXiv: 1212.1304 [hep-ph], 2012. - p.1-19 (will be published in proceedings of the Workshop).

[586] Хацимовский В.М. Некоторое свойство и применение гравитации в формулировке Фаддеева. // Тезисы Международной конференции "Квантовая теория поля и гравитация 2012", 31 июля - 4 августа 2012, Томск, Россия. - Вестник ТГПУ. - вып. 13(128). - С.76-80, (2012). [arXiv:1212.0978 (2012)].

[587] Sokolov V.V. Chaotic interference versus decoherence: external noise, state mixing and quantum-classical correspondence. // Proc. of the Intern. Conference: Chaos2012, 12 - 15 June, 2012, Athens, Greece. - p.2-5, 2012.

[588] Kharkov Yaroslav A., Sokolov Valentin V. Elastic enhancement factor as a quantum chaos probe. // Intern. Workshop "Quantum Transport and Quantum Effects in Photosynthetic Systems", 20 - 21 September, 2012, Breshia, Italy.

[589] Бару С.Е. Система досмотра СРК – состояние дел и перспективы. // Доклад на Международной научно-практической конференции – выставке «Спецсредства не летального действия», апрель 2012, Москва, СТ и С МВД РФ.

[590] Бару С.Е., Ким Д.О. Системы сплошного и выборочного досмотров людей и багажа для предотвращения терактов. // Доклад на VII Международной научно-практической конференции «Технические средства противодействия террористическим и криминальным взрывам», октябрь 2012, Петербург.

[591] Бару С.Е. Проблемы внедрения инновационных разработок ИЯФ СО РАН в области медицины и безопасности. // Доклад на Практической конференции «Академия наук как ключевой ресурс для новой экономики» Международного форума «Интерра», октябрь 2012, Новосибирск.

[592] Бару С.Е., Леонов В.В. Установка персонального досмотра «Сибскан» // Доклад на Международном научно-практическом конгрессе «Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы жизнедеятельности населения», 25 - 27 октября 2012, Новосибирск.

[593] Belikov O., Kolmogorov V., Kondaurov M., Kozak V., Medvedko A., Panasyuk V., Reva V. Bypass modules for solenoid shunting of 2 MeV electron cooler for COSY. // XXIII Russian Particle Accelerator Conference, RUPAC 2012, 24 - 28 September, Saint-Petersburg, Russia. WEPPC023.

[594] Reva V.B., Bryzgunov M.I., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V. High energy electron cooling. // 52nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High-Intensity and High-Brightness Hadron Beams, September 17-21, 2012, Beijing, China. WEO3A01.

[595] Starostenko Alexandr. High-precision magnet production at BINP. // Magnet Production Workshop, April 11-12, 2012, Brookhaven, USA. [http://www.bnl.gov/nsls2/workshops/docs/041212_Magnet_Workshop/default.asp].

[596] Rybitskaya Tatyana. Calculation of magnetic field harmonics. // Magnet Production Workshop, April 11-12, 2012, Brookhaven, USA. [http://www.bnl.gov/nsls2/workshops/docs/041212_Magnet_Workshop/default.asp].

[597] Kazantseva Erica, Skarbo Boris. Magnetic measurement facility. // Magnet Production Workshop, April 11-12, 2012, Brookhaven, USA. [http://www.bnl.gov/nsls2/workshops/docs/041212_Magnet_Workshop/default.asp].

[598] Aleksandr Tsyganov. Quadrupole magnets tuning. // Magnet Production Workshop, April 11-12, 2012, Brookhaven, USA. [http://www.bnl.gov/nsls2/workshops/docs/041212_Magnet_Workshop/default.asp].

[599] Kuznetsov G.I., Batazova M.A., et al. Commissioning of CARIBU EBIS charge breeder sub-systems. // Proc. of HIAT'2012, June 18-21, 2012, Chicago, IL USA, 2012 (WEB02). - p.165-169.

[600] Sokolov A., Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Shemyakina E. Study of Geiger-mode APDs performances at cryogenic temperatures. // Poster at Intern. Workshop on New Photon-Detectors (PhotoDet 2012), June 13-15, 2012, Orsay, France, [http://photodet2012.lal.in2p3.fr.].

[601] Buzulutskov A. Two-phase Cryogenic Avalanche Detectors in Ar for rare-event experiments. // Invited talk at Intern. Workshop "Low Threshold Detectors and Their Application in Neutrino Physics", Intern. Conference-Session of the Section of Nuclear Physics of PSD RAS, MEPHI, November 16, 2012, Moscow, Russia. [http://www.icssnp.mephi.ru/en.].

[602] Telnov V.I. Restriction on the energy and luminosity of e^+e^- storage rings due to beamstrahlung. // EuCARD LEP-3, CERN June 18, 2011.

[603] Telnov V.I. View on photon colliders at ILC, CLIC, Higgs factory SAPHIRE and super $\gamma\gamma$ factory. // Intern. Workshop on Linear Colliders (LCWS 2012), October 24, 2012, Arlington, US.

[604] Telnov V.I. Photon colliders: summary. // Intern. Workshop on Linear Colliders (LCWS 2012), October 24, 2012, Arlington, US.

[605] Telnov V.I. Limitation on the luminosity of e^+e^- storage rings due to beamstrahlung. // Accelerators for a Higgs factory (HF2012), November 15, 2012, FNAL, US.

[606] Telnov V.I. Limitation on the luminosity of e^+e^- storage rings due to beamstrahlung. // Intern. Workshop LHC on the March, November 21, 2012, Protvino, Russia.

- [607] Telnov V.I. Higgs factories. // Intern. Workshop LHC on the March, November 21, 2012, Protvino, Russia.
- [608] Bragin A., Levichev E.B., Piminov P.A., Sinyatkin S.V., Strakhovenko V.M., Telnov V.I., Zolotarev K.V. A Multi-TeV linear collider based on CLIC technology. // CLIC Conceptual Design Report, edited by M. Aicheler, P. Burrows, M. Draper, T. Garvey, P. Lebrun, K. Peach, N. Phinney, H. Schmickler, D. Schulte and N. Toge, CERN-2012-007.
- [609] Bragin A., Levichev E.B., Piminov P.A., Sinyatkin S.V., Strakhovenko V.M., Telnov V.I., Zolotarev K.V. The CLIC Programme: towards a staged e^+e^- Linear Collider exploring the Terascale. // CLIC Conceptual Design Report, edited by P. Lebrun, L. Linssen, A. Lucaci-Timoce, D. Schulte, F. Simon, S. Stappes, N. Toge, H. Weerts, J. Wells, CERN-2012-005, arXiv:1209.2543.
- [610] Bragin A., Levichev E.B., Piminov P.A., Sinyatkin S.V., Strakhovenko V.M., Telnov V.I., Zolotarev K.V. // Physics and detectors at CLIC. CLIC Conceptual Design Report, edited by L. Linssen, A. Miyamoto, M. Stanitzki, H. Weerts, CERN-2012-003, arXiv:1202.5940, 2012.
- [611] 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.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. Sandyrev, 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, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Recent results from the KEDR detector. // 12th Intern. Workshop on Meson Production, Properties and Interaction, 31 May - 5 June, 2012, Krakow, Poland.
- [612] 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.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. Sandyrev, 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, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Studies of $\psi(2S)$ and $\psi(3770)$ at KEDR. // 36th Intern. Conference on High Energy Physics, 4 - 11 July, Melbourne, Australia.
- [613] Gerigk F., Cuvet Y., Dalocchio A., Favre G., Gentini L., Geisser J.M., Giguet J.M., Mathot S., Polini M., Ramberger S., Riffaud B., Rossi C., Ugena Tirado P., Wegner R., Vretenar M., Naumenko M., Kendjebulatov E., Kryuchkov Ya., Tribendis A. Design and construction of the Linac-4 accelerating structures. // To be published in the Proc. of the 26th Linear Accelerator Conference, September 9-14, 2012, Tel-Aviv, Israel.
- [614] Gerigk F., Cuvet Y., Dalocchio A., Favre G., Gentini L., Geisser J.M., Giguet J.M., Mathot S., Polini M., Ramberger S., Riffaud B., Rossi C., Ugena Tirado P., Wegner R., Vretenar M., Naumenko M., Kendjebulatov E., Kryuchkov Ya., Tribendis A. Design and construction of the Linac-4 accelerating structures. // To be published in the Proc. of the 26th Linear Accelerator Conference, September 9-14, 2012, Tel-Aviv, Israel.
- [615] В.В. Анашин, В.М. Аульченко, Е.М. Балдин, А.К. Барладян, А.Ю. Барняков, М.Ю. Барняков, С.Е. Бару, И.Ю. Басок, О.Л. Белобородова, А.Е. Блинов, В.Е. Блинов, А.В. Бобров, В.С. Бобровников, А.В. Богомягков, А.Е. Бондарь, А.Р. Бузыкаев, А.И. Воробьев, Ю.М. Глуховченко, Д.Н. Григорьев, В.В. Гулевич, Д.В. Гусев, В.Н. Жилич, В.В. Жуланов, А.Н. Журавлев, С.Е. Карнаев, Г.В. Карпов, С.В. Карпов, В.А. Киселев, В.В. Колмогоров, С.А. Кононов, К.Ю. Котов, Е.А. Кравченко, В.Н. Кудрявцев, В.Ф. Куликов, Г.Я. Куркин, Э.А. Купер, Е.Б. Левичев, Д.А. Максимов, В.М. Мальшев, А.Л. Маслеников, А.С. Медведко, О.И. Мешков, С.И. Мишнев, И.И. Морозов, Н.Ю. Мучной, В.В. Нейфельд, С.А. Никитин, И.Б. Николаев, И.Н. Окунев, А.П. Онучин, С.Б. Орешкин, И.О. Орлов, А.А. Осипов, С.В. Пелеганчук, В.В. Петров, С.Г. Пивоваров, П.А. Пиминов, А.О. Полуэктов, В.Г. Присекин, А.А. Рубан, Г.А. Савинов, В.К. Сандырев, Е.А. Симонов, С.В. Сияткин, А.Н. Скринский, В.В. Смалюк, А.В. Соколов, Е.В. Старостина, А.М. Сухарев, А.А. Талышев, В.А. Таюрский, В.И. Тельнов,

Ю.А.Тихонов, К.Ю. Тодышев, Г.М. Тумайкин, Ю.В. Усов, Т.А. Харламова, А.Г. Шамо́в, Д.Н. Шатилов, Б.А. Шварц, С.И. Эйдельман, А.Н. Юшков. Прецизионное измерение масс узких резонансов с детектором КЕДР. // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. 12 - 16 ноября, 2012, МИФИ, Москва.

[616] В.В. Анашин, В.М. Аульченко, Е.М. Балдин, А.К. Барладян, А.Ю. Барняков, М.Ю. Барняков, С.Е. Бару, И.Ю. Басок, О.Л. Белобородова, А.Е. Блинов, В.Е. Блинов, А.В. Бобров, В.С. Бобровников, А.В. Богомятков, А.Е. Бондарь, А.Р. Бузыкаев, А.И. Воробьев, Ю.М. Глуховченко, Д.Н. Григорьев, В.В. Гулевич, Д.В. Гусев, В.Н. Жилич, В.В. Жуланов, А.Н. Журавлев, С.Е. Карнаев, Г.В. Карпов, С.В. Карпов, В.А. Киселев, В.В. Колмогоров, С.А. Кононов, К.Ю. Котов, Е.А. Кравченко, В.Н. Кудрявцев, В.Ф. Куликов, Г.Я. Куркин, Э.А. Купер, Е.Б. Левичев, Д.А. Максимов, В.М. Мальшев, А.Л. Масленников, А.С. Медведко, О.И. Мешков, С.И. Мишнев, И.И. Морозов, Н.Ю. Мучной, В.В. Нейфельд, С.А. Никитин, И.Б. Николаев, И.Н. Окунев, А.П. Онучин, С.Б. Орешкин, И.О. Орлов, А.А. Осипов, С.В. Пелеганчук, В.В. Петров, С.Г. Пивоваров, П.А. Пиминов, А.О.Полуэктов, В.Г.Присекин, А.А. Рубан, Г.А. Савинов, В.К. Сандырев, Е.А. Симонов, С.В. Сняткин, А.Н. Скринский, В.В. Смалюк, А.В. Соколов, Е.В. Старостина, А.М. Сухарев, А.А. Тальшев, В.А. Таюрский, В.И. Тельнов, Ю.А.Тихонов, К.Ю. Тодышев, Г.М. Тумайкин, Ю.В. Усов, Т.А. Харламова, А.Г. Шамо́в, Д.Н. Шатилов, Б.А. Шварц, С.И. Эйдельман, А.Н. Юшков. Результаты КЕДР/ ВЭПП-4М по измерению параметров $\psi(3770)$. // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. 12 - 16 ноября, 2012, МИФИ, Москва.

[617] В.В. Анашин, В.М. Аульченко, Е.М. Балдин, А.К. Барладян, А.Ю. Барняков, М.Ю. Барняков, С.Е. Бару, И.Ю. Басок, О.Л. Белобородова, А.Е. Блинов, В.Е. Блинов, А.В. Бобров, В.С. Бобровников, А.В. Богомятков, А.Е. Бондарь, А.Р. Бузыкаев, А.И. Воробьев, Ю.М. Глуховченко, Д.Н. Григорьев, В.В. Гулевич, Д.В. Гусев, В.Н. Жилич, В.В. Жуланов, А.Н. Журавлев, С.Е. Карнаев, Г.В. Карпов, С.В. Карпов, В.А. Киселев, В.В. Колмогоров, С.А. Кононов, К.Ю. Котов, Е.А. Кравченко, В.Н. Кудрявцев, В.Ф. Куликов, Г.Я. Куркин, Э.А. Купер, Е.Б. Левичев, Д.А. Максимов, В.М. Мальшев, А.Л. Масленников, А.С. Медведко, О.И. Мешков, С.И. Мишнев, И.И. Морозов, Н.Ю. Мучной, В.В. Нейфельд, С.А. Никитин, И.Б. Николаев, И.Н. Окунев, А.П. Онучин, С.Б. Орешкин, И.О. Орлов, А.А. Осипов, С.В. Пелеганчук, В.В. Петров, С.Г. Пивоваров, П.А. Пиминов, А.О.Полуэктов, В.Г.Присекин, А.А. Рубан, Г.А. Савинов, В.К. Сандырев, Е.А. Симонов, С.В. Сняткин, А.Н. Скринский, В.В. Смалюк, А.В. Соколов, Е.В. Старостина, А.М. Сухарев, А.А. Тальшев, В.А. Таюрский, В.И. Тельнов,

Ю.А.Тихонов, К.Ю. Тодышев, Г.М. Тумайкин, Ю.В. Усов, Т.А. Харламова, А.Г. Шамо́в, Д.Н. Шатилов, Б.А. Шварц, С.И. Эйдельман, А.Н. Юшков. Проверка лептонной универсальности в распадах J/ψ -мезона. // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. 12 - 16 ноября, 2012, МИФИ, Москва.

[618] Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бобровников В.С., Бузыкаев А.Р., Кононов С.А., Кравченко Е.А., Онучин А.П. Долговременная стабильность азрогелевыхпороговых черенковских счетчиков детектора КЕДР. // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. 12 - 16 ноября, 2012, МИФИ, Москва.

[619] 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., Kravchenko E.A., Kuyanov I.A., Onuchin A.P., Ovtin I.V., Talyshev A.A. Test beam experiment with FARICH prototype. // Intern. Workshop on New Photon-Detectors (PhotoDet 2012), June 2012, Orse, France.

[620] Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Degenhardt K., Dorsheid ., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Kurepin A., Myulens O., Onuchin A.P., Reshetin A., Talyshev A.A. Usenko E., Finogeev D., Frah T., Tswans B., Shmits A. Beam test of FARICH prototype with PDPC dSiPM readout. // Workshop: Preliminary Results on the Feasibility of Using Digital SiPM (dSiPM) Technology in FARICH, June 2012, CERN, Geneva, Switzerland.

[621] Иванов А.А., Бурдаков А.В., Давыденко В.И. Ионные источники и ускорители для ядерного легирования и бор-нейтронозахватной терапии // IV Всероссийская конференция "Физические и физико-химические основы ионной имплантации" (с участием иностранных ученых) и Международная молодежная конференция "Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах", Новосибирск, 23 - 26 октября 2012: тез.докл. - Новосибирск, 2012. - С.100 (Посвящается памяти Заслуженного деятеля науки и техники РФ Леонида Степановича Смирнова).

[622] Trunova V., Fedotov A., Zvereva V., Maksimovskaya V., Melgunov M. Scanning SRXRF analysis in the investigation of the proglacial lake bottom sediments of the Baikalsky Ridge for reconstruction of glacier fluctuation for the last 160 years. // Program and Book of Abstracts of European Conference on X-ray Spectrometry, June 18 -22, 2012, Vienna, Austria. - S.1, 2012. - p.100.

[623] Chernoshtanov I.S., Tsidulko Yu.A. Alf'ven ion-cyclotron instability in a mirror trap with skew injection of neutral beams. // Proc. of 9th Intern. Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, August 27-31, 2012, Tsukuba, Japan.

- [624] Yurov D.V., Brednikhin S.A., Frolov S.A., Lezhnin S.I., Prikhodko V.V., Tsidulko Yu.A. Recent calculation results for a fission-fusion system with gas dynamic trap neutron source. // Proc. of 9th Intern. Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, August 27-31, 2012, Tsukuba, Japan.
- [625] Anderson J.K., Almagri A.F., Den Hartog D.J., Eilerman S., Forest C.B., Koliner J.J., Mirnov V.V., Morton L.A., Nornberg M.D., Parke E., Reusch J.A., Sar J.S., Waksman J., Belykh V., Davydenko V.I., Ivanov A.A., Polosatkin S.V., Tsidulko Y.A., Lin L., Liu D., Fiksel G., Sakakita H., Spong D.A., Titus J. Fast ion confinement and stability in a neutral beam injected reversed field pinch. // 54th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics. - 2012. - Vol.57, N12.
- [626] Romé M., Kotelnikov I. Relativistic thermal equilibria of nonneutral plasmas. // 10th Intern. Workshop on Non-Neutral Plasmas, August 27 - 30, 2012, Greifswald, Germany.
- [627] Kotelnikov I.A., Gerasimov V.V., Knyazev B.A. Diffraction of surface wave on conducting rectangular wedge. // 37th Intern. Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2012), September 23 - 28, 2012, University of Wollongong, Australia. Report Tue-A-4-4.
- [628] Eilerman S., Almagri A.F., Anderson J.K., Belykh V.V., Chapman B.E., Davydenko V.I., Den Hartog D.J., Ding W.X., Fiksel G., Forest C.B., Ivanov A.A., Koliner J.J., Kumar S.T.A., Lin L., Liu D., Magee R.M., Mirnov V.V., Nornberg M.D., Polosatkin S.V., Reusch J.A., Sarff J.S., Spong D.A., Stupishin N., Waksman J. Energetic ion generation and confinement in the MST RFP. // 39th EPS Conference on Plasma Physics, 16th Intern. Congress on Plasma Physics, 2 - 6 July, 2012, Stockholm, Sweden. - P2.069.
- [629] Ivanov A.A., Abdrashitov G.F., Anashin V.V., Belchenko Yu.I., Burdakov A.V., Davydenko V.I., Deichuli P.P., Dimov G.I., Dranichnikov A.N., Kapitonov V.A., Kolmogorov V.V., Kondakov A.A., Sanin A.L., Shikhovtsev I.V., Stupishin N.V., Sorokin A.V., Popov S.S., Tiunov M.A., Voskoboinikov R.V., Belov V.P., Gorbovsky A.I., Kobets V.V., Bindenbauer M., S.Putvinsky, Smirnov A., Seveir L. Development of a negative ion-based neutral beam injector in Novosibirsk. // 3rd Intern. Symposium on Negative Ions, Beams, and Sources, NIBS 2012, 3 - 7 September 2012, Jyväskylä, Finland. - Book of Abstracts. - p.46, O-2 11.
- [630] Prokhorov I.A., Abdrashitov G.F., Averbukh I.I., Belov V.P., Davydenko V.I., Ivanov A.A., Kapitonov V.A., Kolmogorov V.V., Kondakov A.A., Shikhovtsev I.V., Sorokin A.V., Tkachev A.A. Ion source for 10 sec diagnostic neutral beam. // Abstracts of 9th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, 27 - 31 August 2012, Tsukuba, Japan. - P-40. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download>].
- [631] Davydenko V.I., Ivanov A.A., Kotelnikov I., Kreter A., Mishagin V.V., Prokhorov I., Shikhovtsev I.V., Unterberg B. High efficiency helicon plasma source for PMI studies. // Abstracts of Joint Conference of OS2012 and PMIF2012, 27 - 31 August 2012, Tsukuba, Japan. - O-15. [<http://www.prc.tsukuba.ac.jp/OS2012/abstract-download>].
- [632] Юров Д.В., Аникеев А.В., Багрянский П.А., Бреднихин С.А., Лежнин С.И., Приходько В.В., Фролов С.А., Цицулко Ю.А. Моделирование плазменных и нейтронных процессов в гибридной системе с источником нейтронов на основе ГДЛ. // Сборник тезисов Всероссийского семинара «Физические и технические аспекты объемного источника нейтронов для материаловедческих, технологических исследований и решения задач ядерной энергетики», 4 - 8 июня 2012, Звенигород. - С.18-19.
- [633] Багрянский П.А. Результаты экспериментов в поддержку проекта источника нейтронов на основе газодинамической ловушки для ядерной энергетики. // Сборник тезисов Всероссийского семинара «Физические и технические аспекты объемного источника нейтронов для материаловедческих, технологических исследований и решения задач ядерной энергетики», 4 - 8 июня 2012, Звенигород. - С.48-49.
- [634] Аникеев А.В., Багрянский П.А., Бреднихин С.А., Лежнин С.И., Приходько В.В., Фролов С.А., Цицулко Ю.А., Юров Д.В. Плазменный источник нейтронов на основе газодинамической ловушки для гибридных ядерных установок. // Сборник тезисов Всероссийского семинара «Физические и технические аспекты объемного источника нейтронов для материаловедческих, технологических исследований и решения задач ядерной энергетики», 4 - 8 июня 2012, Звенигород. - С.81-82.
- [635] Anikeev A.V. The fusion neutron source as a driver in a sub-critical burner of radioactive wastes. // Humboldt Colloquium «The Role of Fundamental Sciences in Society», USA. - p.18-19.
- [636] Barkov L.M., Dmitriev V.F., Dusaev R.R., Gauzshtein V.V., Loginov A.Yu., Mishnev S.I., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.S., Shestakov Yu.V., Sidorov A.A., Stibunov V.N., Toporkov D.K., Zevakov S.A. Measurement of the exclusive reaction of the negative pion photoproduction on polarized deuterons in the region of the large values of the final proton momenta. // Nucleus 2012: Fundamental problems of nuclear physics, atomic power engineering and nuclear technologies. June 25 - 30, 2012, Voronezh, Russia. - Book of abstract, p.122.
- [637] Dusaev R.R., Gauzshtein V.V., Loginov A.Yu., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.S., Shestakov Yu.V., Sidorov A.A., Stibunov V.N., Toporkov D.K., Zevakov S.A. Measurement of the tensor analyzing power components of the negative pion photoproduction on deuterons. // Nucleus 2012: Fundamental problems of nuclear physics, atomic power engineering and nuclear technologies. June 25 - 30, 2012, Voronezh, Russia. - Book of abstract, p.127.

- [638] Barkov L.M., Dmitriev V.F., Dusaev R.R., Gauzshtein V.V., Loginov A.Yu., Mishnev S.I., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.S., Shestakov Yu.V., Sidorov A.A., Stibunov V.N., Toporkov D.K., Zevakov S.A. Measurement of the differential cross section of the negative pion photoproduction on deuteron at large proton momenta // *Nucleus 2012: Fundamental problems of nuclear physics, atomic power engineering and nuclear technologies*. June 25 - 30, 2012, Voronezh, Russia. - Book of abstract, p.135.
- [639] Куксанов Н.К., Фадеев С.Н., Голубенко Ю.И., Когут Д.А., Корчагин А.И., Лаврухин А.В., Немытов П.И., Салимов Р.А., Семенов А.В. ELV-ускоритель для промышленного применения (семейство ускорителей ЭЛВ и тенденции их развития). // Доклад на 23 Всероссийской конференции по ускорителям заряженных частиц (RuPAC 2012), 24 - 28 сентября 2012, Санкт-Петербург.
- [640] Куксанов Н.К., Фадеев С.Н., Когут Д.А. Развитие модельного ряда и повышение эксплуатационных характеристик ускорителей ЭЛВ. // Доклад на 23 Всероссийской конференции по ускорителям заряженных частиц (RuPAC 2012), 24 - 28 сентября 2012, Санкт-Петербург.
- [641] Shevchenko O.A., Arbuzov V.S., Chernov K.N., Demytyev E.N., Dovzhenko B.A., Getmanov Ya.V., Gorniker E.I., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kondakov A.A., Kozak V.R., Kozyrev E.V., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kuper E.A., Kuptsov I.V., Kurkin G.Ya., Medvedev L.E., Mironenko L.A., Ovchar V.K., Persov B.Z., Pilan A.M., Popik V.M., Repkov V.V., Salikova T.V., Scheglov M.A., Sedlyarov I.K., Serdobintsev G.V., Serednyakov S.S., Skrinisky A.N., Tararyshkin S.V., Tcheskidov V.G., Vinokurov N.A., Vlasenko M.G., Vobly P.D., Volkov V.N. The Novosibirsk Terahertz FEL facility – current status and future prospects. // 34th Intern. Free-Electron Laser (FEL2012), 26 - 31 August, 2012, Nara, Japan.
- [642] Kamps T., Anders W., Barday R., Jankowiak A., Knobloch J., Kugeler O., Matveenko A.N., Neumann A., Quast T., Rudolph J., Schubert S.G., Völker J., Kneisel P., Nietubyc R., Sekutowicz J.K., Smedley J., Teichert J., Volkov V., Will I. Operational experience with the Nb/Pb SRF photoelectron gun. // Intern. Particle Conference (IPAC2012), 20 - 25 May, New Orleans, Louisiana, USA. - p.1518.
- [643] Volkov V., Barday R., Kamps T., Knobloch J., Matveenko A.N., Schubert S.G., Völker J., Sekutowicz I.K. The source of emittance dilution and photoemission tunneling effect in photocathode RF guns. // Intern. Particle Conference (IPAC2012), 20 - 25 May, New Orleans, Louisiana, USA. - p.1542.
- [644] Volkov V., Barday R., Kamps T., Knobloch J., Matveenko A.N., Neumann A. Interpretation of dark current experimental results in HZB SC RF gun. // Intern. Particle Conference (IPAC2012), 20 - 25 May, New Orleans, Louisiana, USA. - p.1545.
- [645] Volkov V., Barday R., Kamps T., Knobloch J., Matveenko A.N. Cathode insert design for SC RF guns Intern. Particle Conference (IPAC2012), 20 - 25 May, New Orleans, Louisiana, USA. - p.1548.
- [646] Volkov V. Numerical simulation of dark current and halo particles. // Unwanted Beam Workshop (UBW), 19 - 20 December, 2012, Berlin. [<https://indico.helmholtz-berlin.de/getFile.py/access?contribId=25&sessionId=12&resId=0&materialId=slides&confId=2>].
- [647] Belchenko Yu.I., Davydenko V.I., Gorbovsky A.I., Ivanov A.A., Kobets V.V., Konstantinov S.G., Sanin A.L., Schikhovtsev I.V., Tiunov M.A. Multiaperture Negative Ion Source // 3rd Intern. Symp. on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS 2012), Sept. 3 - 7, 2012, Jyväskylä, Finland. - Abstracts: Jyväskylä, 2012, p.42.
- [648] Belchenko Yu.I., Gorbovsky A.I., Ivanov A.A., Sanin A.L., Savkin V.Ya., Tiunov M.A. Upgrade of CW negative hydrogen ion source. // 3rd Intern. Symp. on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS 2012), Sept. 3 - 7, 2012, Jyväskylä, Finland. - Abstr.: Jyväskylä, 2012, p.72.
- [649] Taskaev S., Aleynik V., Bashkirtsev A., Kamkin M., Kasatov D., Kuznetsov A., Makarov A., Schudlo I., Sorokin I., Tiunov M. Current progress and future prospects of the VITA based neutron source. // 15th Intern. Congress on Neutron Capture Therapy, Sept. 10 - 14, 2012, Tsukuba, Japan. – Abstracts.: Tsukuba, 2012, p.99.
- [650] Volk J., Shiltsev V., Chupyr A., Kondaurov M., Singatulin S., Fratta D., Meulemans A., Potier C., Wang H. Hydrostatic level systems at Fermilab and SURF. // Proc. of 12th Intern. Workshop on Accelerator Alignment (IWA 12), FNAL, 10 - 14 September 2012, Batavia.
- [651] А.Л. Гудков, А.И. Козлитин, В.М. Матвеев, В.И. Мишачев, Н.В. Спинко, В.А. Ушаков (Федеральное Государственное Унитарное Предприятие Проблем им. Ф.В.Лукина (Москва, Зеленоград, Россия); О.В. Анчугов, В.С. Арбузов, Д.Е. Беркаев, Д.Ю. Болховитянов, С.С. Васичев, В.Ф. Веремеенко, Б.Г. Гольденберг, Э.И. Горникер, Б.А. Довженко, С.Е. Карнаев, В.А. Киселев, С.А. Крутихин, В.Р. Козак, Г.Н. Кулипанов, Э.А. Купер, К.Э. Купер, И.В. Купцов, Г.Я. Куркин, А.С. Медведко, А.Д. Николенко, В.М. Петров, А.М. Пилан, И.К. Седляров, А.М. Семенов, Г.В. Сердобинцев, С.В. Сияткин, А.Г. Стешов, С.В. Тарарышкин, А.В. Филипченко, К.Н. Чернов, А.Д. Черныкин, И.Н. Чуркин, Д.А. Шведов, В.Д. Юдин (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СОРАН, Новосибирск, Россия); А.Г. Валентинов, В.Н. Корчуганов, Ю.В. Крылов, Д.Г. Одинцов, Ю.Л. Юпинов (НИЦ «Курчатовский институт», НБИКС-Центр, СННТК, Москва, Россия). Центр Высоких Технологий на базе инженерно-производственного корпуса с синхротроном "Зеленоград": состояние и перспективы. // XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения, 25 - 28 июня, 2012, Россия, Новосибирск.
- [652] Abelleira J., Russenschuck S., ..., Shatilov D., et al. Local chromatic correction scheme and crab-waist

collisions for an ultra-low beta at the LHC. // Proc. of IPAC'12, New Orleans, 20 - 25 May, 2012, USA. [<http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/IPAC2012/papers/moppc002.pdf>].

[653] Guiducci S., Bacci A., ..., Shatilov D., et al. Baseline design of the SuperB Factory Injection System. // Proc. of IPAC'12, New Orleans, 20 - 25 May, 2012, USA. [<http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/IPAC2012/papers/tuppr088.pdf>].

[654] Nagaitsev S., Valishev A., Danilov V., Shatilov D. Beam physics of integrable optics test accelerator at Fermilab. // Proc. of IPAC'12, New Orleans, 20 - 25 May, 2012, USA. [arXiv: 1301.6671 [physics.acc-ph]]. [<http://arxiv.org/abs/1301.6671>].

[655] Nagaitsev S., Valishev A., Danilov V., Shatilov D. Design and simulation of IOTA - a novel concept of integrable optics test accelerator. // Proc. of IPAC'12, New Orleans, 20 - 25 May, 2012, USA. - FERMILAB-CONF-12-247-AD. [arXiv:1301.7032 [physics.acc-ph]]. [<http://arxiv.org/abs/1301.7032>].

[656] Stancari G., Valishev A., Previtali V., Shatilov D. Numerical simulations of transverse beam diffusion enhancement by the use of electron lens in the Tevatron Collider. // Proc. of IPAC'12, New Orleans, 20 - 25 May, 2012, USA. [<http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/IPAC2012/papers/tueppb002.pdf>].

[657] Morozov I., Stancari G., Valishev A., Shatilov D. Simulation of hollow electron beam collimation in the Fermilab Tevatron Collider. Proc. of IPAC'12, New Orleans, 20 - 25 May, 2012, USA. [<http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/IPAC2012/papers/moepb008.pdf>].

[658] Nikitin S.A. Status of the Super B project and beam polarization issues. // XX Межд. симпозиум по спиновой физике (SPIN6), 17 - 22 сент., 2012, Дубна. [<http://theor.jinr.ru/~spin2012/talks/s6/Nikitin.pdf>].

[659] Bogomyagkov A.V. BINP tau charm plans and other projects in Turkey/China. // The 5th Intern. Workshop on Charm Physics 9 Charm 2012), May 14 - 17, 2012, Honolulu, Hawaii.

[660] B. Dalena, R. Appleby, A.V. Bogomyagkov, A. Chancé, J. Payet, R. De Maria, B.J. Holzer, A. Faus-Golfe, J. Resta-López, K.M. Hock, M. Korostelev, L.N.S. Thompson, A. Wolski, C. Milardi. Optics and lattice optimizations for the LHC upgrade project. // IPAC12, May 20 - 25, 2012, New Orleans Louisiana, USA.

[661] R. De Maria, S. Fartoukh, A. Bogomyagkov, M. Korostelev. HLLHCv1.0: HL-LHC layout and optics version for 150 mm Nb3Sn triplets and local crab-cavities. // 2nd Joint HiLumi LHC-LARP Annual Meeting, 14 -16 November, 2012, INFN, Frascati.

[662] M. Giovannozzi, R. Appleby, J. Barranco, A. Bogomyagkov, Y. Cai, A. Chance, B. Dalena, R. De Maria, S. Fartoukh, A. Faus-Golfe, K. Hock, Y. Jiao*, M. Korostelev, E. Levichev, Y. Nosochkov, J. Payet, P. Piminov, J. Resta Lopez, L. Rivkin, R. Tomás, M.-H. Wang, A. Wolski, Y. Yan, M. Zobov. Particle simulations: status

and plans. // 2nd Joint HiLumi LHC-LARP Annual Meeting, 14 -16 November, 2012, INFN, Frascati.

[663] B. Holzer, B. Dalena, A. Bogomyagkov, R. Appleby, A. Faus-Golfe, J. Payet, A. Chance', K. Hock, M. Korostelev, R. de Maria, J. Resta, C. Milardi, L. Thompson, M. Thomas, A. Wolski. HL-LHC optics configuration vs. experiment desiderata. // 2nd Joint HiLumi LHC-LARP Annual Meeting, 14 -16 November, 2012, INFN, Frascati.

Препринты 2012

1. А.В. Бобров, А.Е. Бондарь. Изучение фоновых условий от распадов пар $\tau^- \tau^+$ для поиска процесса $\tau \rightarrow \mu \gamma$. // Препринт ИЯФ 2012-1, 23с. - Новосибирск, 2012.

2. В.И. Алейник, А.С. Кузнецов, И.Н. Сорокин, С.Ю. Таскаев, М.А. Тиунов. Регистрация темнового тока большой интенсивности в ускорителе-тандеме с вакуумной изоляцией после увеличения апертуры ускорительного канала. // Препринт ИЯФ 2012-2, 14с. - Новосибирск, 2012.

3. В.И. Алейник, А.С. Кузнецов, И.Н. Сорокин, С.Ю. Таскаев, М.А. Тиунов, И.М. Щудло. Калибровка обдирочной мишени ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией. // Препринт ИЯФ 2012-4, 15с. - Новосибирск, 2012.

4. А.А. Листопад, В.И. Давыденко, А.А. Иванов, В.В. Мишагин, Р. Улеманн, Б. Швеер. Многощелевая четырехэлектродная ионно-оптическая система для формирования диагностического пучка быстрых атомов. // Препринт ИЯФ 2012-6, 15с. -Новосибирск, 2012.

5. В.И. Алейник, А.Г. Башкирцев, А.С. Кузнецов, А.Н. Макаров, И.Н. Сорокин, С.Ю. Таскаев, М.А. Тиунов, И.М. Щудло. Оптимизация транспортировки пучка отрицательных ионов водорода в ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией. // Препринт ИЯФ 2012-7, 12с. - Новосибирск, 2012.

6. А.Г. Башкирцев, А.А. Иванов, Д.А. Касатов, А.С. Кузнецов, И.Н. Сорокин, С.Ю. Таскаев, В.Я. Чудаев. Расчетные и экспериментальные оценки поля рентгеновского излучения, создаваемого высоковольтными элементами установки «Ускоритель-тандем БНЗТ», Препринт ИЯФ 2012-8, 18с. - Новосибирск, 2012.

7. 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. Борисов, А.А. Ботов, А.В. Васильев, В.Б. Голубев, К.А. Гревцов, Т.В. Димова, В.П. Дружинин, И.М. Землянский, Л.В. Кардапольцев, А.С. Касаев, А.Н. Кирпотин, Д.П. Коврижин, И.А. Кооп, А.А. Король, С.В. Кошуба, Е.А. Кравченко, 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, К.Ю. Сковпень, А.Н. Скринский, И.К. Сурин, 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. Поиск процесса e^+e^- аннигиляции в пару нейтрон-антинейтрон в эксперименте с детектором СНД на коллайдере ВЭПП-2000. // Препринт ИЯФ 2012-14, 27с. -Новосибирск, 2012.
8. В.Г. Баркова, В.Я. Чудаев, Н.С. Шамакина. Ослабление местными защитными экранами эквивалентной дозы прямого пучка тормозного излучения высокой энергии. // Препринт ИЯФ 2012-16, 15с. - Новосибирск, 2012.
9. Compiled by A.A. Ivanov, V.V. Prikhodko, M.S. Korzhavina, and K.V. Zaytsev. The GDT-based neutron source and related issues (Annotated bibliography), Preprint Budker INP 2012-18, 67p. - Novosibirsk, 2012.
10. V.S. Fadin, R. Fiore, A. Papa. Difference between standard and quasi-conformal BFKL kernels. // Preprint Budker INP 2012-19, 22p. - Novosibirsk, 2012.
11. Е.В. Абакумова, 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, А.А. Жуков, 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.С. Купич, А.П. Лысенко, К.А. Мартин, И.Н. Нестеренко, А.Е. Образовский, В.П. Олейников, А.П. Онучин, Е.В. Пахтусова, Е.А. Переведенцев, Е.Э. Пята, Ю.А. Роговский, А.Л. Романов, С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, А.А. Сироткин, К.Ю. Сковпень, А.Н. Скринский, И.К. Сурин, 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. Статус экспериментов с детектором СНД на коллайдере ВЭПП-2000. // Препринт ИЯФ 2012-20, 27с. - Новосибирск, 2012.
12. В.Г. Баркова, В.Я. Чудаев, Н.С. Шамакина. Ослабление бетонной защитой воздушной кермы тормозного излучения из толстых железных мишеней. Наклонное падение на защиту. $E^0 = 0,5; 1,0; 2,0; 2,8$ МэВ. // Препринт ИЯФ 2012-26, 26с. - Новосибирск, 2012.
13. В.М. Петров, Н.В. Митянина. Использование перекрестных обратных связей в цепях управления амплитудой и фазой ускоряющих ВЧ напряжений синхротронов для существенного увеличения тока ускоряемых частиц. Препринт ИЯФ 2012-27, 41с. - Новосибирск, 2012.
14. А.М. Батраков, П.В. Вагин, И.В. Ильин, А.В. Павленко, Д.С. Шичков. Прецизионные многофункциональные интеграторы VsDC2 и VsDC3, Препринт ИЯФ 2012-31, 25р. - Новосибирск, 2012.
- ***
15. S. Bladwell, V.F. Dmitriev, V.V. Flambaum, A. Kozlov. Colour-octet bound states, induced by Higgs mechanism. // arXiv:1212.5416.
16. R.E. Gerasimov, A.V. Grabovsky. Evolution equation for 3-quark Wilson loop operator. // arXiv:1212.1681 [hep-th].
17. Bartels J., Fadin V.S., Lipatov L.N. and Vacca G.P. NLO Corrections to the kernel of the BKP-equations. // arXiv:1210.0797 [hep-ph]; to be published in Nucl. Phys. B 867 (2013) 827-854.
18. R.N. Lee. Presenting LiteRed: a tool for the Loop InTEgrals REDuction. // arXiv: 1212.2685.
19. A.G. Grozin. Decoupling in QED and QCD. // arXiv:1212.5144[hep-ph].
20. A.G. Grozin. Quantum Chromodynamics. // arXiv:1205.1815 [hep-ph].
21. A.G. Grozin. Reduce interface. // arXiv:1204.3020 [cs.MS].
22. V.L. Chernyak. Mass spectrum in SQCD with additional fields I. // arXiv: 1205.0410 [hep-th], 2012. - p.1-54.
23. V.L. Chernyak. // Mass spectrum in SQCD with additional fields. II. // arXiv: 1211.1487 [hep-th], 2012, pp. 1-27.
24. V.M. Khatsymovsky. First order representation of the Faddeev formulation of gravity. // arXiv:1201.0806[gr-qc], p.1-9, (2012).
25. Khatsymovsky V.M. Faddeev formulation of gravity in discrete form. // arXiv:1201.0808 [gr-qc], p.1-18, (2012).
26. V.M. Khatsymovsky. On area spectrum in the Faddeev gravity. // arXiv:1206.5509 [gr-qc], p.1-17, (2012).
27. Yaroslav A. Kharkov, Valentin V. Sokolov. Elastic enhancement factor as a quantum chaos probe. // arXiv:1211.1773v2 [quant-ph]. 8 Nov 2012, published in Phys. Lett. B. 2013, Vol.718, p.1562-1565.
28. Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Grebenuk A., Shemyakina E., Sokolov A. Study of infrared scintillations in gaseous and liquid argon. Part I: methodology and time measurements. // E-print: arXiv: 1204.0180, 2012.
29. Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Grebenuk A., Peleganchuk S., Porosev V., Shekhtman L., Shemyakina E., Sokolov A. Study of infrared scintillations in gaseous and liquid argon. Part II: light yield and possible applications. // E-print: arXiv: 1204.0580, 2012.
30. Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Grebenuk A., Shemyakina E., Sokolov A., Akimov D., Breskin A. and Thers D. Two-phase Cryogenic Avalanche Detectors with THGEM and hybrid THGEM/GEM multipliers operated in Ar and Ar+N₂. // E-print: arXiv:1210.0649, 2012.
31. Y. Miyazaki, Belle Collab., V. Aulchenko, S. Eidelman, D. Epifanov, N. Gabyshev, A. Garmash, P. Krokovny, A. Kuzmin, D. Matvienko, B. Shwartz, V. Zhulanov, et al. Search for lepton-flavor-violating and

- lepton-number-violating decay modes. // arXiv:1206.5595.
32. S. Esen, Belle Collab., S. Eidelman, P. Krokovny, B. Shwartz, V. Zhilich, V. Zhulanov, et al. Precise measurement of the branching fractions for $B_s \rightarrow D^{(*)+}_s D^{(*)-}$ and first measurement of the $D^{(*)+}_s D^{(*)-}$ polarization using e^+e^- collisions. // arXiv:1208.0323.
33. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev, et al. Differential branching fraction and angular analysis of the $B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-$ decay. // arXiv:1209.4284.
34. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev, et al. First evidence for the annihilation decay mode $B^+ \rightarrow D^+_{s1} \rho$. // arXiv:1210.1089.
35. Y.-T. Duh, Belle Collab., V. Aulchenko, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, A. Kuzmin, V. Shebalin, B. Shwartz, A. Vinokurova, V. Zhilich, V. Zhulanov, et al. Measurements of branching fractions and direct CP asymmetries for $B \rightarrow K\pi$, $B \rightarrow \pi\pi$ and $B \rightarrow KK$ decays. // arXiv:1210.1348.
36. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev, et al. Evidence for the decay $B^0 \rightarrow J/\psi \omega$ and measurement of the relative branching fractions of B^0_s meson decays to $J/\psi \eta$ and $J/\psi \eta'$. // arXiv:1210.2631.
37. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev, et al. Measurement of the CP asymmetry in $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ decays. // arXiv:1210.4492.
38. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev, et al. Measurement of the $B^0 - \bar{B}^0$ oscillation frequency Δm_d with the decays $B \rightarrow D^- \pi^+$ and $B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$. // arXiv:1210.6750.
39. U. Tamponi, Belle Collab., V. Aulchenko, A. Bondar, S. Eidelman, D. Epifanov, P. Krokovny, A. Kuzmin, B. Shwartz, V. Zhilich, V. Zhulanov, et al. Study of the hadronic transitions $\Upsilon(2S) \rightarrow \Upsilon(1S) \eta(\pi^0)$ at Belle. // arXiv:1210.6914.
40. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev, et al. Observation of $D^0 - \bar{D}^0$ oscillations. // arXiv:1211.1230.
41. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev, et al. First observation of the decay $B^*_{s2}(5840)^0 \rightarrow B^{*+} K^-$ and studies of excited B_s mesons. // arXiv:1211.5994.
42. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev, et al. Measurement of the time-dependent CP asymmetry in $B^0 \rightarrow J/\psi K^0_s$ decays. // arXiv:1211.6093.
43. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev, et al. Measurement of J/ψ production in pp collisions at $\sqrt{s}=2.76$ TeV. // arXiv:1212.1045.
44. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev et al. Measurement of the cross-section for $Z \rightarrow e^+ e^-$ production in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV. // arXiv:1212.4620.
45. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev et al. Measurement of the forward energy flow in pp collisions at 7 TeV. // arXiv:1212.4755.
46. R. Aaij, LHCb Collab., A. Bobrov, A. Bondar, S. Eidelman, P. Krokovny, V. Kudryavtsev, A. Poluektov, L. Shekhtman, V. Vorobyev et al. Measurement of CP observables in $B^0 \rightarrow D K^{*0}$ with $D \rightarrow K^+ K^-$. // arXiv:1212.5205.
47. B.R. Ko, Belle Collab., K. Arinstein, A. Bondar, S. Eidelman, N. Gabyshev, A. Kuzmin, V. Zhilich et al. Search for CP violation in the decay $D^+ \rightarrow K^0_s K^+$. // arXiv:1212.6112.
48. C. Oswald, Belle Collab., K. Arinstein, A. Bondar, S. Eidelman, N. Gabyshev, P. Krokovny, D. Matvienko, B. Shwartz, V. Zhilich et al. Measurement of the inclusive semileptonic branching fraction $\text{Bf}(B^0_s \rightarrow X^- l^+ \nu)$ at Belle. // arXiv:1212.6400.
49. D. Babusci, ..., P.A. Lukin, A.L. Sibidanov, et al. Precision measurement of $\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma)/\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma)$ and determination of the $\pi^+\pi^-$ contribution to the muon anomaly with the KLOE detector. // E-print: arXiv:1212.4524 [hep-ex].
50. A.V. Arzhannikov I.V. Timofeev. Generation of powerful terahertz emission in a beam-driven strong plasma turbulence. // arXiv:1205.4081v1 [physics.plasm-ph].
51. V.I. Telnov. Restriction on the energy and luminosity of e^+e^- storage rings due to beamstrahlung. // arXiv:1203.6563 [physics.acc-ph].
52. Blondel, M. Koratzinos, ..., V. Telnov. LEP3: A high luminosity e^+e^- collider to study the Higgs boson. // arXiv:1208.0504 [physics.acc-ph].
53. K.V. Lotov, G.Z. Lotova, V.I. Lotov, A. Upadhyay, T. Tuckmantel, A. Pukhov, A. Caldwell. Natural noise and external wake field seeding in a proton-driven plasma accelerator. // E-print: arXiv:1204.3444 [physics.plasm-ph].
54. K.V. Lotov, A. Pukhov, A. Caldwell. Effect of plasma inhomogeneity on plasma wakefield acceleration driven by long bunches. // E-print: arXiv:1205.3388 [physics.plasm-ph].

55. R.R. Akhmetshin, A.V. Anisenkov, S.A. Anokhin, V.M. Aulchenko, V.S. Banzarov, L.M. Barkov, N.S. Bashtovoy, D.E. Berkaev, A.E. Bondar, A.V. Bragin, S.I. Eidelman, D.A. Epifanov, L.B. Epshteyn, G.V. Fedotov, S.E. Gayazov, A.A. Grebenuk, D.N. Grigoriev, E.M. Gromov, F.V. Ignatov, S.V. Karpov, V.F. Kazanin, B.I. Khazin, I.A. Koop, A.N. Kozyrev, P.P. Krokovny, A.E. Kuzmenko, A.S. Kuzmin, I.B. Logashenko, A.P. Lysenko, P.A. Lukin, K.Yu. Mikhailov, Yu.N. Pestov, E.A. Perevedentsev, S.A. Pirogov, S.G. Pivovarov, A.S. Popov, Yu.S. Popov, S.I. Redin, Yu.A. Rogovsky, A.L. Romanov, A.A. Ruban, N.M. Ryskulov, A.E. Ryzhenenkov, V.E. Shebalin, D.N. Shemyakin, B.A. Shwartz, D.B. Shwartz, A.L. Sibidanov, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, I.G. Snopkov, E.P. Solodov, V.M. Titov, A.A. Talyshv, A.I. Vorobiov, Yu.V. Yudin, A.S. Zaytsev. Study of the process $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ in the c.m. energy range 1.5--2.0 GeV with the CMD-3 detector. // E-print: arXiv:1302.0053.

56. E.V. Abakumova, M.N. Achasov, D.E. Berkaev, V.V. Kaminsky, N.Yu. Muchnoi, E.A. Perevedentsev, E.E. Pyata, Yu.M. Shatunov. Backscattering of laser radiation on ultra-relativistic electrons in transverse magnetic field: evidence of photon interference in a MeV scale. Nov 2012, 4 pages. // E-print: arXiv:1211.0103 [physics.acc-ph].

57. B. Wojtsekhowski, D. Nikolenko, I. Rachek. Searching for a new force at VEPP-3. // arXiv:hep-ex/1207.5089.

58. M. Ablikim, BESIII Collab., M.N. Achasov, O. Albayrak, N. Muchnoi, I. Nikolaev, et al. Study of the near-threshold $\omega\phi$ mass enhancement in doubly OZI suppressed $J/\psi \rightarrow \gamma\omega\phi$ decays. // [arXiv:1211.5668 [hep-ex]].

59. M. Ablikim, BESIII Collab., M.N. Achasov, O. Albayrak, N. Muchnoi, I. Nikolaev, et al. Measurements of $\psi' \rightarrow \bar{p} K^+ \Sigma^0$ and $\chi_{c1} \rightarrow \bar{p} K^+ \Lambda$. // arXiv:1211.5631 [hep-ex].

60. M. Ablikim, BESIII Collab., M.N. Achasov, N. Muchnoi, I. Nikolaev, et al. Search for η and $\eta' \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}_e + c.c.$ decays in $\psi \rightarrow \phi \rightarrow \eta$ and $\phi \rightarrow \eta'$. // arXiv:1211.3600 [hep-ex].

61. M. Ablikim, BESIII Collab., M.N. Achasov, N.Yu. Muchnoi, I. Nikolaev, et al. Measurements of baryon pair decays of χ_{c1} mesons. // arXiv:1211.2283 [hep-ex].

62. M. Ablikim, BESIII Collab., M.N. Achasov, N. Muchnoi, I. Nikolaev, et al. Observation of η_c decay into $\Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$ and $\Xi^- \bar{\Xi}^+$ final states. // arXiv:1210.2831 [hep-ex].

63. M. Ablikim, BESIII Collab., M.N. Achasov, N. Muchnoi, I. Nikolaev, et al. Search for η and η' invisible decays in $J/\psi \rightarrow \phi\eta$ and $\phi\eta'$. // arXiv:1209.2469 [hep-ex].

64. M. Ablikim, BESIII Collab., M.N. Achasov, N. Muchnoi, I. Nikolaev, et al. Search for hadronic transition

$\chi_{c1} \rightarrow \eta_c \pi^+ \pi^-$ and observation of $\chi_{c1} \rightarrow K \bar{K} \pi \pi$. // arXiv:1208.4805 [hep-ex].

65. M. Ablikim, BESIII Collab., M.N. Achasov, O. Albayrak, N. Muchnoi, I. Nikolaev, et al. Evidence for $\eta_c \rightarrow \gamma\gamma$ and measurement of $J/\psi \rightarrow 3\gamma$. // arXiv:1208.1461 [hep-ex].

Авторефераты 2012

1. ШЕХТМАН Лев Исаевич. Быстродействующие координатные газовые детекторы высокого разрешения. // 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

2. КОЗАК Виктор Романович. Распределенные системы управления и контроля ускорительными комплексами ИЯФ СО РАН. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора технических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

3. БОГДАНЧИКОВ Александр Георгиевич. Программное обеспечение системы сбора данных детектора СНД. // 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

4. РЕЗНИЧЕНКО Алексей Викторович. Амплитуды КХД с глюонным обменом при высоких энергиях. // 01.04.02 – теоретическая физика. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

5. ЛИСТОПАД Александр Алексеевич. Диагностический атомарный инжектор с многочелевой системой формирования пучка. // 01.04.08 – физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

6. НИКОЛАЕВ Иван Борисович. Измерение энергии пучка ускорителя ВЭПП-4М методом резонансной деполяризации. // 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

7. СКОВПЕНЬ Кирилл Юрьевич. Поиск W_R -бозона и тяжелого нейтрино на детекторе ATLAS. // 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

8. ТОДЫШЕВ Корнелий Юрьевич. Измерение параметров $\psi(2S)$ - и $\psi(3770)$ -мезонов. // 01.04.16 -

физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

9. ФАТЬКИН Георгий Александрович. Структура и аппаратные средства системы управления линейным индукционным ускорителем рентгенографического комплекса. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

10. КРАСНОВ Александр Анатольевич. Исследование и прогнозирование динамической плотности остаточных газов в вакуумных камерах современных ускорительно-накопительных комплексов. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

11. ПЕТРЕНКО Алексей Васильевич. Модельно-независимый анализ и калибровка моделей поперечного движения пучка в накопителях. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2012, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

Участие в конференциях 2012

1. XXXIX Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС, 6 - 10 февраля 2012, Звенигород, Россия.

2. X Конференция по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям, 27 февраля - 2 марта 2012, Харьков.

3. 4th International Workshop on Far-Infrared Technologies (IW-FIRT 2012), March 7 - 9, 2012, University of Fukui, Japan.

4. I KEK Flavor Factory Workshop, March 2012, KEK, Japan.

5. Интерэкспо ГЕО-Сибирь-12: VIII Международный научный конгресс. Международная научная конференция "Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии, 10 - 20 апреля 2012, Новосибирск, Россия.

6. Magnet Production Workshop, April 11 - 12, 2012, Brookhaven, USA.

7. Забабахинские научные чтения: XI Международная конференция, 16 - 20 апреля 2012, Снежинск, Россия.

8. Международная научно-практическая конференция - выставка «Спецсредства не летального действия», апрель 2012, Москва.

9. Workshop on Radiative Corrections and MC Generators, April 2012, Frascati, Italy.

10. Workshop on Exotic Hadrons, April 2012, Bonn, Germany.

11. 5th International Workshop on Charm Physics (Charm 2012), May 14 - 17, 2012, Honolulu, Hawaii.

12. 20th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, May 21 - 25, 2012, Eurogress Aachen, Germany.

13. International Particle Conference (IPAC'12), New Orleans, 20 - 25 May, 2012, USA.

14. Workshop on Transition Form Factors, May 2012, Cracow, Poland.

15. 12th International Workshop on Meson Production, Properties and Interaction, 31 May - 5 June, 2012, Krakow, Poland.

16. Всероссийский семинар «Физические и технические аспекты объемного источника нейтронов для материаловедческих, технологических исследований и решения задач ядерной энергетики», 4 - 8 июня 2012, Звенигород, Россия.

17. 24th Joint Russian-German Meeting on ECRH and Gyrotrons, June 11 - 15, 2012, Nizhny Novgorod, Russia.

18. International Conference: Chaos2012, 12 - 15 June, 2012, Athens, Greece.

19. International Workshop on New Photon-Detectors (PhotoDet 2012), June 13-15, 2012, Orsay, France.

20. HIAT'2012, June 18-21, 2012, Chicago, IL USA.

21. European Conference on X-ray Spectrometry, June 18 -22, 2012, Vienna, Austria.

22. 2-я Международная конференция "Терагерцовое и микроволновое излучение: генерация, детектирование и применения" (ТЕРА-2012), 20 - 22 июня 2012, Москва.

23. XIX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения: Всероссийская молодежная конференция "Использование синхротронного излучения", 25 - 28 июня 2012, ИЯФ, Новосибирск, Россия.

24. 4-ый Международный Крейнделевский семинар "Плазменная эмиссионная электроника", 25 - 30 июня 2012, Улан-Удэ.

25. Nucleus 2012: Fundamental problems of nuclear physics, atomic power engineering and nuclear technologies. June 25 - 30, 2012, Voronezh, Russia.

26. Workshop: Preliminary Results on the Feasibility of Using Digital SiPM (dSiPM) Technology in FARICH, June 2012, CERN, Geneva, Switzerland.

27. Workshop on Analysis Tools for Next Generation Hadron Spectroscopy, June 2012, Camoli, Italy.

28. 39th EPS Conference and 16th International Congress on Plasma Physics, 2 - 6 July, 2012, Stockholm, Sweden.

29. International Workshop "Hadron Structure and QCD: from LOW to HIGH energies", July 4 - July 8, 2012, Gatchina, Russia.

30. 36th International Conference on High Energy Physics, 4 - 11 July, Melbourne, Australia.
31. Olympus Symposium "Experimental and theoretical aspects of the proton form factors", July 9 - 11, 2012, Gatchina, Russia.
32. Международная конференция "Квантовая теория поля и гравитация 2012", 31 июля - 4 августа 2012, Томск, Россия.
33. 34th International Free-Electron Laser (FEL2012), 26 - 31 August, 2012, Nara, Japan.
34. 10th International Workshop on Non-Neutral Plasmas, August 27 - 30, 2012, Greifswald, Germany.
35. 9th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, 27 - 31 August, 2012, Tsukuba, Japan.
36. Joint Conference of OS2012 and PMIF2012, 27 - 31 August 2012, Tsukuba, Japan.
37. 20th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'12), 2 - 6 September, 2012, Thun, Switzerland.
38. 3rd International Symposium on Negative Ions, Beams, and Sources (NIBS 2012), 3 - 7 September 2012, Jyväskylä, Finland.
39. 26th Linear Accelerator Conference, September 9-14, 2012, Tel-Aviv, Israel.
40. 12th International Workshop on Accelerator Alignment (IWAA 12), FNAL, 10 - 14 September 2012, Batavia.
41. International Workshop "Diffraction 2012", September 11 - 15, Puerto del Camen, Lanzarote, Spain.
42. 52nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High-Intensity and High-Brightness Hadron Beams, September 17 - 21, 2012, Beijing, China.
43. XX Международный симпозиум по спиновой физике (SPIN6), 17 - 22 сент., 2012, Дубна, Россия.
44. International Workshop "Quantum Transport and Quantum Effects in Photosynthetic Systems", 20 - 21 September, 2012, Breshia, Italy.
45. 37th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, University of Wollongong, September 23 - 28, 2012, Australia.
46. 23-я Всероссийская конференция по ускорителям заряженных частиц (RuPAC 2012), 24 - 28 сентября 2012, Санкт-Петербург, Россия.
47. XII Workshop on Tau Lepton Physics, September 2012, Nagoya, Japan.
48. 4th Euro-Asian Pulsed Power Conference and 19th International Conference on High-Power Particle Beams (EAPPC 2012/BEAMS 2012), September 30 - October 4, 2012, Karlsruhe, Germany.
49. Taipei International Workshop "QCD in Two Photon Processes, 2 - 4 October, 2012, Taipei, Taiwan.
50. 24rd IAEA Fusion Energy Conference, 8 - 13 October, 2012, San Diego, USA.
51. International Workshop on Linear Colliders (LCWS 2012), October 24, 2012, Arlington, US.
52. Workshop "Scattering Amplitudes and the Multi-Regge Limit", October 24 - 26, 2012, Madrid, Spain.
53. IV Всероссийская конференция "Физические и физико-химические основы ионной имплантации" (с участием иностранных ученых) и Международная молодежная конференция "Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах", 23 - 26 октября 2012, Новосибирск, Россия.
54. Международный научно-практический конгресс «Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы жизнедеятельности населения», 25 - 27 октября 2012, Новосибирск, Россия.
55. VII Международная научно-практическая конференция «Технические средства противодействия террористическим и криминальным взрывам», октябрь 2012, Петербург.
56. Международный форум «Интерна». Практическая конференция «Академия наук как ключевой ресурс для новой экономики», октябрь 2012, Новосибирск.
57. Международная сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН. 12 - 16 ноября, 2012, МИФИ, Москва.
58. 2nd Joint HiLumi LHC-LARP Annual Meeting, 14 - 16, November, 2012, INFN, Frascati.
59. Accelerators for a Higgs factory (HF2012), November 15, 2012, FNAL, US.
60. International Workshop "Low Threshold Detectors and Their Application in Neutrino Physics", International Conference-Session of the Section of Nuclear Physics of PSD RAS, МЭФН, November 16, 2012, Moscow, Russia.
61. International Workshop LHC on the March, November 21, 2012, Protvino, Russia.
62. Unwanted Beam Workshop (UBW), 19 - 20 December, 2012, Berlin.
63. 3rd International Congress on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter, High Current Electronics and Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, 2012, Tomsk, Russia.
64. 54th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, 2012.

Соглашения о сотрудничестве между ИЯФ и зарубежными лабораториями

Название лаборатории		Область сотрудничества	Дата	Координаты
№	1	2	3	4
1	<i>Daresbury</i> Англия	Генерация и использование СИ.	1977	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>И. Мунро (Daresbury)</i>
2	<i>BESSY</i> Германия	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> (Германия)	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> (Германия)	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> (Германия)	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> (Германия)	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> (Испания)	Ускорительные технологии и физика плазмы.	2007	<i>Е. Левичев (ИЯФ);</i> <i>Ж. Рубио (CIEMAT)</i>
8	<i>CELLS</i> (Испания)	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> (Италия)	Разработка интенсивного источника радиоактивных ионных пучков для экспериментов по физике ядра.	1984	<i>П. Логачев (ИЯФ);</i> <i>Л. Теккио (INFN)</i>
10	<i>Унив. Милана</i> (Италия)	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> (Италия)	Разработка проекта коллайдера DAFNE-II	2004	<i>Е. Левичев (ИЯФ);</i> <i>С. Бискари (INFN-LNF)</i>
12	<i>Унив. Падуи</i> (Италия)	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> (Казахстан)	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> (Казахстан)

№	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>Унив. Питтсбурга (США)</i>	Эксперименты на ВЭПП-2М и ϕ -фабрика.	1989	<i>С. Эйдельман, Е. Солодов (ИЯФ); В. Савинов (США)</i>
25	<i>Унив. 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>

№	1	2	3	4
27	<i>FERMILAB (США)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: охлаждение, системы конверсии.	1993	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); О. Финли (FERMILAB)</i>
28	<i>FERMILAB (США)</i>	Обмен учёными и инженерами для проведения исследований.	1995	<i>А. Скринский (ИЯФ); П. Оддоне (FERMILAB)</i>
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 микроструктурных 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>RIKEN Spring-8 (Япония)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей и синхротронного излучения.	1996	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ); Х. Камидзубо (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:

Бондарь Александр Евгеньевич

Винокуров Николай Александрович

Димов Геннадий Иванович

Логачев Павел Владимирович

Пархомчук Василий Васильевич

Хрипович Иосиф Бенционович

Шатунов Юрий Михайлович

Дирекция

Директор:

Скринский Александр Николаевич

Заместители директора по науке:

Иванов Александр Александрович

Кулипанов Геннадий Николаевич

Левичев Евгений Борисович

Тихонов Юрий Анатольевич

Советник РАН:

Кругляков Эдуард Павлович

Учёный секретарь:

Васильев Алексей Владимирович

Ученый совет

1. Академик, председатель
2. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя
3. Академик, зам. председателя
4. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя
5. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя
6. Кандидат физ.-мат. наук, уч. секретарь
7. Кандидат технических наук
8. Доктор физ.-мат. наук, профессор
9. Академик
10. Доктор физ.-мат. наук
11. Член-корр. РАН
12. Доктор физ.-мат. наук
13. Член-корр. РАН
14. Академик

Скринский А.Н.
Иванов А.А.
Кулипанов Г.Н.
Левичев Е.Б.
Тихонов Ю.А.
Васильев А.В.
Анашин В.В.
Аржанников А.В.
Барков Л.М.
Блинов В.Е.
Бондарь А.Е.
Бурдаков А.В.
Винокуров Н.А.
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.) | Князев Б.А. | Петриченков М.В. |
| Горбунов В.А. (секр.) | Колмогоров В.В. | Петров В.М. |
| Анашин В.В. | Корчагин А.И. | Пиндюрин В.Ф. |
| Антохин Е.И. | Куксанов Н.К. | Пята Е.Э. |
| Батраков А.М. | Купер К.Э. | Ракшун Я.В. |
| Брызгин А.А. | Купер Э.А. | Салимов Р.А. |
| Бондарь А.Е. | Куркин Г.Я. | Скринский А.Н. |
| Винокуров Н.А. | Левичев Е.Б. | Трибендис А.Г. |
| Востриков В.А. | Логачев П.В. | Тумайкин Г.М. |
| Гольденберг Б.Г. | Медведко А.С. | Фадеев С.Н. |
| Гуров Д.С. | Мезенцев Н.А. | Чернякин А.Д. |
| Диканский Н.С. | Мишнев С.И. | Чуркин И.Н. |
| Ерохин А.И. | Немытов П.И. | Шатунов Ю.М. |
| Золотарев К.В. | Николенко А.Д. | Шевченко О.А. |
| Иванов А.А. | Онучин А.П. | Шкаруба В.А. |
| Карпов Г.В. | Пархомчук В.В. | |

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.)	Колмогоров В.В.	Пестриков Д.В.
Петров В.В. (секр.)	Кооп И.А.	Петров В.М.
Анашин В.В.	Краснов А.А.	Рева В.Б.
Барков Л.М.	Кругляков Э.П.	Салимов Р.А.
Батраков А.М.	Кулипанов Г.Н.	Симонов Е.А.
Беркаев Д.Е.	Куксанов Н.К.	Скринский А.Н.
Блинов В.Е.	Купер Э.А.	Солодов Е.П.
Бондарь А.Е.	Куркин Г.Я.	Старостенко А.А.
Брызгин А.А.	Левичев Е.Б.	Тихонов Ю.А.
Васильев А.В.	Логачев П.В.	Тумайкин Г.М.
Винокуров Н.А.	Медведко А.С.	Хазин Б.И.
Воблый П.Д.	Мезенцев Н.А.	Шатилов Д.Н.
Горбунов В.А.	Мешков О.И.	Шатунов Ю.М.
Гуров С.М.	Мишнев С.И.	Шатунов П.Ю.
Диканский Н.С.	Никитин С.А.	Шварц Д.Б.
Ерохин А.И.	Онучин А.П.	Шиянков С.В.
Золотарев К.В.	Переведенцев Е.А.	Шевченко О.А.
Киселев В.А.		

Физика элементарных частиц

Бондарь А.Е. (предс.)
Таюрский В.А. (секр.)
Аульченко В.М.
Ачасов М.Н.
Барков Л.М.
Бару С.Е.
Беркаев Д.Е.
Блинов А.Е.
Блинов В.Е.
Бузулуцков А.Ф.
Васильев А.В.
Воробьев А.И.
Гармаш А.Ю.
Голубев В.Б.
Гребенюк А.А.
Григорьев Д.Н.
Грозин А.Г.
Грошев В.Р.
Димова Т.В.
Дмитриев В.Ф.
Дружинин В.П.
Жилич В.Н.
Игнатов Ф.В.
Катков В.М.
Кононов С.А.
Кооп И.А.

Кравченко Е.А.
Кроковный П.П.
Кузьмин А.С.
Левичев Е.Б.
Ли Р.Н.
Логачев П.В.
Логашенко И.Б.
Лукин П.А.
Малышев В.М.
Масленников А.Л.
Мильштейн А.И.
Мучной Н.Ю.
Николаев И.Б.
Николенко Д.М.
Онучин А.П.
Образовский А.Е.
Пархомчук В.В.
Пахтусова Е.В.
Пелеганчук С.В.
Пестов Ю.Н.
Пивоваров С.Г.
Померанский А.А.
Попов А.С.
Рачек И.А.
Редин С.И.

Рыскулов Н.М.
Середняков С.И.
Силагадзе З.К.
Сковпень Ю.И.
Скринский А.Н.
Соколов А.В.
Соколов В.В.
Солодов Е.П.
Тодышев К.Ю.
Тельнов В.И.
Терехов И.С.
Тихонов Ю.А.
Топорков Д.К.
Фадин В.С.
Федотович Г.В.
Хазин Б.И.
Харламов А.Г.
Хриплович И.Б.
Черняк В.Л.
Шамов А.Г.
Шатунов Ю.М.
Шварц Б.А.
Шварц Д.Б.
Шехтман Л.И.
Эйдельман С.И.

Автоматизация

Тихонов Ю.А. (предс.)
Купер Э.А. (зам. предс.)
Балдин Е.М. (секр.)
Дубров С.В. (секр.)
Алешаев А.Н.
Амосов С.А.
Аульченко В.М.
Банзаров В.Ш.
Батраков А.М.
Белов С.Д.
Беркаев Д.Е.
Болховитянов Д.Ю.
Бузыкаев А.Р.

Грозин А.Г.
Васильев А.В.
Каплин В.И.
Квашнин А.Н.
Коваленко Ю.В.
Колмогоров В.В.
Кооп И.А.
Король А.А.
Кузин М.В.
Купчик В.И.
Курилин О.Ю.
Левичев Е.Б.

Логашенко И.Б.
Максимова С.В.
Медведко А.С.
Неханевич Э.Л.
Солодов Е.П.
Сухарев А.М.
Тарарышкин С.В.
Факторович Б.П.
Хильченко А.Д.
Цуканов В.М.
Чеблаков П.Б.
Шатунов Ю.М.
Шувалов Б.Н.

Научные работники и их публикации

Абакумова Е.В.	413, 414, 56п	Атлуханов М.Г.	
Абдрахманов И.И.		Аульченко В.М.	49, 50, 108, 120, 137, 144, 146, 151, 161, 167, 170, 237, 294, 305, 307, 314, 333, 334, 336, 337, 341, 358., 443, 461, 477, 545, 611, 612, 615, 616, 617, 7п, 11п, 31п, 35п, 39п, 55п
Абдрашитов Г.Ф.	191, 629, 630		
Авербух И.И.	630	Ахметов Т.Д.	29, 149, 570
Авилов М.С.	25	Ахметшин Р.Р.	333, 334, 336, 55п
Авроров А.П.	432, 529, 562, 565, 571, 575, 579	Ачасов М.Н.	78, 124, 140, 152, 155, 163, 187, 339, 340, 341, 342, 358, 360, 414, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 7п, 11п, 56п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п, 64п, 65п
Акимов А.В.	87, 205, 244, 246, 542, 543, 547, 548		
Акимов В.Е.	246	Алиновский Н.И.	
Алейник В.И.	241, 487, 509, 519, 649, 2п, 3п, 5п	Алякринский О.Н.	
		Амиров В.Х.	535
Алиновский Н.И.		Анашин В.В.	49, 50, 337, 413, 415, 611, 612, 615, 616, 617, 629
Алякринский О.Н.			
Амиров В.Х.	535	Андрянов А.В.	
Анашин В.В.	49, 50, 337, 413, 415, 611, 612, 615, 616, 617, 629	Аникеев А.В.	212, 352, 357, 531, 538, 544, 567, 632, 634, 635
		Анисёнков А.В.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 64, 65, 69, 70, 71, 75, 81, 82, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 94, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 116, 131, 133, 139, 142, 164, 168, 172, 174, 175, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 333, 334, 336, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 55п
Анохин С.А.	333, 334, 336, 55п	Багулов Д.С.	32, 536
Антохин Е.И.	406	Бак П.А.	246, 542, 543, 547
Анчугов О.В.	205	Балдин Е.М.	49, 50, 217, 337, 611, 612, 615, 616, 617
Аракчеев А.С.	221	Банзаров В.Ш.	333, 334, 336, 55п
Арбузов В.С.	466, 486, 493, 641, 651	Барков Л.М.	250, 333, 334, 336, 400, 636, 638, 55п
Аржанников А.В.	189, 218, 228, 251, 267, 269, 270, 272, 435, 440, 442, 521, 525, 529, 530, 558, 559, 560, 562, 563, 565, 566, 569, 577, 578, 579, 50п	Баркова В.Г.	8п, 12п
		Барладян А.К.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617
Аринштейн К.Э.	307	Барняков А.Ю.	49, 50, 337, 339, 340, 341, 342, 358, 360, 611, 412, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 7п, 11п
Астрелин В.Т.	267, 271, 430, 432, 442, 525, 529, 532, 539, 540, 555, 556, 557, 562, 564, 565, 567, 571, 575, 576, 579	Барняков А.М.	501, 511
		Барняков М.Ю.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 618, 619, 620
Астрелина К.В.	505	Бару С.Е.	49, 50, 288, 337, 589, 590, 591, 592, 611, 612, 615, 616, 617
		Барышев В.Б.	
		Басалаев А.В.	
		Басок И.Ю.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 619
		Батазова М.А.	192, 542, 543, 547, 599
		Баткин В.И.	529, 562, 565, 579
		Батраков А.М.	205, 506, 508, 513, 542, 543, 547, 14п
		Башкирцев А.Г.	343, 509, 519, 520, 649, 5п, 6п
		Баштовой Н.С.	333, 334, 336, 55п
		Баянов Б.Ф.	519
		Бедарева Т.В.	27
		Безуглов В.В.	484

Беклемишев А.Д.	195, 253, 352, 353, 524, 529, 546, 562, 564, 565, 567, 568, 570, 579	329, 330, 331, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 33п, 34п, 36п, 37п, 38п, 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п
Беликов О.В.	205, 412, 489, 542, 543, 547, 593	Бобровников В.С.
Белобородов К.И.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617
Белобородова О.Л.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617	243
Белов В.П.	191, 526, 629, 630	Бобылев В.Б.
Белов С.Д.		Богданчиков А.Г.
Белова Л.Л.	415	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 48, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 339, 340, 341, 342, 358, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617
Белых В.В.	190, 268, 523, 529, 625, 629	Богомягков А.В.
Бельченко Ю.И.	629, 647, 648	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617
Бердюгин А.В.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п	Боймельштейн Ю.М.
Беркаев Д.Е.	333, 334, 336, 339, 340, 342, 358, 359, 360, 514, 651, 7п, 11п, 55п, 56п	Болховитянов Д.Ю.
Бехтенов Е.А.	205, 409, 485, 492, 497	542, 543, 547
Бирючевский Ю.А.	204	Бондаренко А.В.
Блинов А.Е.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617	542, 543, 547, 651
Блинов В.Е.	25, 49, 50, 106, 107, 109, 118, 122, 126, 127, 130, 134, 136, 138, 145, 177, 217, 226, 247, 337, 419, 611, 612, 615, 616, 617, 619, 7п, 11п	Бондарь А.Е.
Блинов М.Ф.		3, 4, 5, 6, 12, 36, 40, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 76, 77, 99, 111, 117, 121, 123, 135, 141, 143, 147, 150, 153, 154, 159, 160, 165, 176, 188, 300, 301, 309, 310, 315, 316, 317, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328,
Бобров А.В.	3, 4, 5, 6, 12, 36, 40, 47, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 76, 77, 99, 111, 117, 121, 123, 135, 141, 143, 147, 150, 153, 154, 159, 160, 165, 176, 188, 300, 301, 309, 310, 315, 316, 317, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328,	329, 330, 331, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 33п, 34п, 36п, 37п, 38п, 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п

	165, 166, 167, 169, 170, 176, 188, 293, 294, 298, 300, 301, 302, 304, 305, 307, 309, 310, 311, 312, 313, 315, 316, 317, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 333, 334, 336, 337, 600, 611, 612, 615, 616, 617, 1п, 28п, 29п, 30п, 33п, 34п, 35п, 36п, 37п, 38п, 39п, 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 47п, 48п, 55п		
Борисов А.А.	339, 340, 358, 514, 7п		Власенко М.Г. 438, 446, 466, 486, 641
Бороденко А.А.	619		Власов А.Ю. 484
Ботов А.А.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п		Воблый П.Д. 24, 466, 486, 508, 513, 641
Бочаров В.Н.			Волков А.А. 238, 500
Брагин А.В.	333, 334, 336, 500, 608, 609, 610, 55п		Волков В.Н. 466, 486, 493, 515, 641, 642, 643, 644, 645, 646
Бродников А.Ф.	549		Волосов В.И.
Брызгунов М.И.	494, 503, 516, 594		Воробьев А.И. 49, 50, 333, 334, 336, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 33п, 34п, 36п, 37п, 38п, 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 55п
Брызгин А.А.	484		Воробьев В.С. 6, 36, 52, 58, 60, 61, 62, 108, 120, 121, 135, 137, 144, 146, 150, 151, 153, 159, 166, 167, 170, 188, 300, 301, 302, 304, 305, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 315, 325, 327, 328, 329, 331
Бублей А.В.	494, 503		Воронин Л.А.
Бузулуцков А.Ф.	293, 297, 298, 299, 600, 601, 28п, 29п, 30п		Воскобойников Р.В. 29, 149, 523, 570, 629
Бузыкаев А.Р.	49, 50, 106, 107, 109, 118, 122, 126, 127, 130, 134, 136, 138, 145, 177, 611, 612, 615, 616, 617, 618, 619, 620		Востриков В.А. 215, 231, 428
Букин Д.А.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 11п		Вячеславов Л.Н. 251, 255, 267, 442, 525, 529, 534, 558, 562, 565, 566, 569, 578, 579
Бурдаков А.В.	251, 252, 267, 271, 352, 353, 430, 431, 432, 442, 521, 525, 528, 529, 532, 546, 553, 558, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 578, 579, 580, 621, 629		Габышев Н.И. 108, 120, 128, 137, 144, 146, 148, 156, 161, 169, 170, 173, 304, 305, 306, 307, 308, 311, 312, 313, 314, 31п, 47п, 48п
Бурдин П.Н.	498		Гавриленко Д.Е. 529, 564, 567, 572
Бурмасов В.С.	243, 521, 525, 529, 562, 563, 565, 566, 569, 578, 579		Гамбарян В.В. 491
Быков Е.В.			Гармаш А.Ю. 108, 120, 128, 137, 144, 146, 151, 169, 170, 302, 314, 31п
Быков П.В.	432, 562, 565, 571, 575, 579		Гафаров М.Р.
Васильев А.А.	468, 574		Гаязов С.Е. 333, 334, 336, 55п
Васильев А.В.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п		Генцелев А.Н. 235, 470, 471, 472
Васичев С.С.	651		Герасимов В.В. 262, 438, 439, 446, 480, 550, 627
Веремеенко В.Ф.	412, 651		Герасимов Р.Е. 16п
Весенев В.М.	341, 11п		Гетманов Я.В. 466, 486, 502, 504, 641
Винокуров Н.А.	219, 250, 262, 263, 444, 466, 486, 493, 502, 504, 641		Глухов С.А.
Винокурова А.Н.	108, 137, 144, 146, 156, 167, 169, 170, 308, 313, 35п		Глуховченко Ю.М. 49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617
			Голковский М.Г. 402, 403, 404, 405, 406, 407
			Головин Р.А. 400
			Голубев В.Б. 106, 107, 109, 118, 122, 126, 127, 130, 134, 136, 138, 145, 177, 339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п
			Голубенко Ю.И. 213, 214, 495, 639
			Гольденберг Б.Г. 235, 451, 455, 457, 458, 464, 470, 472, 475, 651
			Гончаров А.Д. 202, 494, 516

Горбовский А.И.	191, 629, 647, 648	Домаров Е.В.	214
Горбунов В.А.		Донин А.С.	198, 212, 538
Горловой А.В.	469	Дорохов Д.В.	
Горникер Э.И.	204, 466, 486, 493, 641, 651	Драничников А.Н.	191, 629
Горчаков К.М.	205	Дружинин В.П.	106, 107, 109, 118, 122, 126, 127, 130, 134, 136, 138, 145, 177, 339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п
Грабовский А.В.	276, 16п	Дубровин А.Н.	205
Грамолин А.В.	400	Дудников А.В.	199, 408, 512
Гребенюк А.А.	293, 298, 333, 334, 336, 28п, 29п, 30п, 55п	Елисеев А.А.	542, 543, 547
Гревцов К.А.	339, 340, 341, 342, 358, 7п, 11п	Елисеев В.С.	406
Грехов А.Н.	27	Еманов Ф.А.	542, 543, 547
Григорьев Д.Н.	49, 50, 333, 334, 336, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 55п	Емелёв И.С.	
Гришняев Е.С.	338, 431, 529, 574	Ерохин А.И.	205, 483, 489
Грозин А.Г.	282, 283, 19п, 20п, 21п	Жариков А.А.	517
Громов Е.М.	333, 334, 336, 55п	Жаринов Ю.М.	342, 514
Грошев В.Р.	249	Жилич В.Н.	49, 50, 108, 120, 128, 137, 144, 146, 148, 151, 156, 161, 167, 169, 170, 173, 294, 302, 304, 305, 306, 307, 311, 312, 313, 314, 337, 400, 611, 612, 615, 616, 617, 32п, 35п, 39п, 47п, 48п
Губин К.В.		Жиров О.В.	287
Гудков Б.А.		Жмуриков Е.И.	28, 266, 433
Гулевич В.В.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 619	Жуков А.А.	413, 414, 11п
Гуров Д.С.	24	Жуланов В.В.	49, 50, 108, 120, 128, 137, 144, 146, 161, 167, 169, 173, 294, 302, 304, 305, 306, 307, 308, 311, 312, 313, 314, 337, 461, 467, 478, 611, 612, 615, 616, 617, 31п, 32п, 35п, 39п
Гуров С.М.	205	Журавлев А.Н.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617
Гусев Г.А.	413	Заверткин П.С.	
Гусев Д.В.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617	Зайцев А.С.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 53, 56, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 75, 79, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 217, 333, 334, 336, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 55п
Гусев Е.А.		Зайцев В.Н.	25
Гусев И.А.	483, 496, 497, 516		
Давидовский В.Г.			
Давыденко В.И.	191, 201, 216, 350, 351, 523, 567, 570, 571, 575, 621, 625, 628, 629, 630, 631, 647, 4п		
Девятайкина Т.А.	220, 498		
Дейчули О.И.	466		
Дейчули П.П.	191, 197, 350, 629		
Дементьев Е.Н.	466, 486, 641		
Денисенко Р.С.			
Дербенев А.А.			
Дервянкин Г.Е.	432, 529, 562, 565, 571, 575, 579		
Диканский Н.С.			
Димов Г.И.	629		
Димова Т.В.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п		
Дмитриев В.Ф.	274, 400, 636, 638, 15п		
Добровольская О.А.	574		
Довженко Б.А.	466, 486, 641, 651		
Долгов А.М.	293, 294, 298, 600, 28п, 29п, 30п		

Зайцев К.В.	211, 212, 527, 538, 570, 9п	Каминский В.В.	400, 56п
Запрыгаев И.А.		Кандауров И.В.	430, 432, 529, 532, 539, 554, 556, 558, 562, 564, 565, 567, 569, 571, 572, 575, 579
Зверев Д.А.	518	Капитонов В.А.	523, 526, 629, 630
Зеваков С.А.	400, 401, 636, 637, 638	Кардапольцев Л.В.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п
Землянский И.М.	339, 340, 359, 360, 7п, 11п	Карнаев С.Е.	49, 50, 205, 337, 489, 611, 612, 615, 616, 617, 651
Зинин Э.И.	234, 445	Карпов Г.В.	49, 50, 205, 337, 409, 485, 492, 507, 611, 612, 615, 616, 617
Золотарев К.В.	265, 413, 481, 500, 608, 609, 610	Карпов И.Е.	430, 532, 540
Зорин А.В.		Карпов С.В.	49, 50, 333, 334, 336, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 55п
Зубарев П.В.		Касаев А.С.	358, 7п
Иваненко В.Г.	529, 565, 579	Касатов А.А.	243, 251, 525, 534, 562, 565, 569, 579
Иваненко С.В.	241, 243, 245	Касатов Д.А.	243, 343, 519, 520, 649, 6п
Иванов А.А.	29, 149, 191, 198, 201, 211, 216, 241, 343, 350, 351, 352, 353, 432, 520, 523, 526, 528, 529, 533, 546, 564, 567, 568, 570, 571, 575, 580, 621, 625, 628, 629, 630, 631, 647, 648, 4п, 6п, 9п	Касьяненко П.В.	
Иванов А.В.	230	Катков В.М.	285
Иванов Иван А.	251, 252, 267, 432, 442, 521, 525, 529, 546, 553, 558, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 569, 574, 575, 578, 579	Квашнин А.Н.	241, 245
Иванов Игорь А..	352	Кенжебулатов Е.К.	204, 515, 613, 614
Иванцовский М.В.	251, 255, 521, 525, 529, 534, 562, 563, 565, 567, 569, 579	Ким Д.О.	590
Ивлюшкин Д.В.	469	Кирпотин А.Н.	358, 359, 514, 7п, 11п
Игнатов Ф.В.	333, 334, 336, 55п	Киселев В.А.	49, 50, 205, 231, 337, 410, 428, 611, 612, 615, 616, 617, 651
Ильин И.В.	14п	Клюев В.Ф.	202
Кадыров Р.А.		Князев Б.А.	200, 260, 262, 429, 438, 439, 446, 466, 480, 482, 486, 550, 551, 627, 641
Казанин В.Ф.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 48, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 249, 333, 334, 336, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 55п	Кобец В.В.	205, 629, 647
Казанцева Е.С.	220, 498, 508, 510, 513, 597	Коваленко Ю.В.	
Калинин П.В.	218, 228, 267, 269, 270, 435, 440, 442, 529, 558, 559, 564, 566, 577, 578	Коврижин Д.П.	339, 340, 341, 342, 358, 360
		Когут Д.А.	213, 214, 495, 499, 639, 640
		Козак В.Р.	219, 412, 466, 486, 497, 516, 518, 593, 641, 651, 2А
		Козлов М.Г.	257, 258
		Козырев А.Н.	333, 334, 336, 55п
		Козырев Е.В.	466, 486, 641
		Кокин Е.Н.	484
		Колесников Е.Ю.	
		Колмогоров А.В.	
		Колмогоров В.В.	49, 50, 191, 205, 337, 483, 489, 593, 611, 612, 615, 616, 617, 629, 630
		Колобанов Е.И.	263, 466, 486, 493, 641
		Колокольников Ю.М.	24
		Кондаков А.А.	191, 197, 466, 486, 629, 630, 641
		Кондауров М.Н.	411, 497, 516, 593, 650
		Кондратьев В.И.	448, 457, 458, 470, 471, 472,

	474, 475, 476		302, 304, 305, 306, 307, 308,
Кононов С.А.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 618, 619, 620		309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 31п, 32п, 33п, 34п, 35п, 36п, 37п 38п, 39п, 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 48п, 55п
Константинов В.М.	205, 415		
Константинов Е.С.	202		
Константинов С.Г.	431, 647		
Кооп И.А.	209, 333, 334, 336, 339, 340, 342, 358, 359, 360, 514, 7п, 11п, 55п	<u>Кругляков Е.П.</u>	243, 250, 353, 568, 580
Корепанов А.А.	205, 244, 246, 542, 543, 547,	Крутихин С.А.	204, 493, 651
Коржавина М.С.	212, 527, 538, 9п	Крыгина А.С.	
Коробейников М.В.		Крючков Я.Г.	613, 614
Король А.А.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 48, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 217, 339, 340, 341, 342, 358, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 7п, 11п	Кубарев В.В.	261, 263, 434, 441, 447, 466, 468, 473, 486, 641
Корчагин А.И.	214, 495, 639	Кудряцев В.Н.	6, 36, 52, 55, 58, 60, 61, 62, 76, 121, 150, 153, 159, 166, 188, 294, 300, 301, 309, 310, 315, 316, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 331, 615, 616, 617, 33п, 34п, 36п, 37п, 38п, 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п
Косарев А.Н.	414	Кузнецов А.С.	344, 487, 509, 519, 649, 2п, 3п, 5п, 6п
Косов А.В.	452	Кузнецов Г.И.	192, 196, 542, 543, 547, 599
Котельников А.И.	236	Кузнецов С.А.	218, 251, 267, 440, 442, 521, 529, 558, 559, 563, 565, 566, 569, 577, 578, 579
Котельников И.А.	32, 254, 348, 349, 439, 446, 480, 528, 530, 536, 563, 626, 627, 631	Кузьменко А.Е.	333, 334,, 336, 55п
Котов К.Ю.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617	Кузьмин А.С.	108, 137, 144, 146, 151, 156, 161, 167, 169, 170, 305, 306, 307, 308, 312, 313, 333, 334, 336, 31п, 35п, 39п, 47п, 55п
Кошуба С.В.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п	Кузьминых В.С.	205, 413
Кравченко Е.А.	49, 50, 106, 107, 109, 118, 122, 126, 127, 130, 134, 136, 138, 145, 177, 337, 341, 342, 358, 611, 612, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 7п, 11п	Куклин К.Н.	243, 529, 553, 562, 565, 569, 574, 579
Краснов А.А.	413, 414, 10А	Куксанов Н.К.	193, 213, 214, 402, 495, 499, 639, 640
Кривашин Д.С.		Куленко Я.В.	542, 543, 547
Кроковный П.П.	3, 4, 5, 6, 12, 36, 52, 58, 60, 61, 62, 108, 120, 123, 128, 137, 144, 146, 150, 151, 153, 159, 161, 166, 167, 188, 300, 301,	Куликов В.Ф.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617
		Кулипанов Г.Н.	262, 263, 436, 443, 457, 458, 465, 466, 486, 504, 545, 551, 641, 651
		Купер К.Э.	651
		Купер Э.А.	49, 50, 205, 219, 337, 412, 466, 486, 497, 517, 518, 611, 612, 615, 616, 617, 641, 651
		Купич А.С.	11п
		Купцов И.В.	466, 486, 493, 641, 651
		Куркин Г.Я.	49, 50, 204, 337, 466, 486, 493, 515, 611, 612, 615, 616, 617, 641, 651

Куркучеков В.В.	432, 529, 539, 554, 558, 562, 565, 569, 571, 572, 575, 579	382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617
Куянов И.А.		
Лаврухин А.В.	214, 495, 639	
Лазаренко Б.А.	400	Максимовская В.В.
Лапик Р.М.		259, 265, 449, 481, 622
Лебедев Н.Н.		Мальшев В.М.
Лев В.Х.	23, 238	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617
Левичев А.Е.	501, 511	
Левичев Е.Б.	49, 50, 205, 215, 231, 250, 337, 413, 428, 488, 490, 545, 608, 609, 610, 611, 612, 615, 616, 617, 662	
Легкодимов А.А.	239, 240, 448, 459, 460, 469, 474	
Лемзяков А.Г.	464, 470, 472	
Леонов В.В.	592	
Ли Р.Н.	103, 104, 278, 279, 280, 284, 18п	
Лизунов А.А.	194, 198, 211, 212, 538, 570	
Листопад А.А.	201, 216, 4п, 5А	
Логачев П.В.	25, 244, 246, 541, 542, 543, 547	
Логашенко И.Б.	217, 333, 334, 336, 55п	Мальцева Ю.И.
Ложкина А.М.	570	Мамкин В.Р.
Лотов К.В.	31, 34, 203, 221, 354, 355, 356, 552, 53п, 54п	205, 497, 518
Лукин А.Н.		Мартин К.А.
Лукин П.А.	333, 334, 336, 49п, 55п	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п
Лысенко А.П.	333, 334, 336, 339, 340, 359, 514, 7п, 11п, 55п	Мартышкин П.В.
Лях В.В.	239, 240, 469	Масленников А.Л.
Макаров А.Н.	509, 519, 649, 5п	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 26, 27, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617
Макаров И.Г.		
Макаров М.А.	251, 252, 267, 442, 525, 529, 558, 566, 578	
Макеев А.В.		
Максимов В.В.	211, 212, 533, 538, 570	
Максимов Д.А.	2, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 181, 182, 185, 186, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381,	
		Матвеев А.Н.
		263, 642, 643, 644, 645
		Матвиенко Д.В.
		108, 137, 144, 146, 148, 151, 156, 167, 169, 170, 304, 308, 313, 314, 31п, 48п
		Машковцев М.Р.
		239, 448, 469, 474, 497
		Медведев Л.Э.
		466, 486

Медведко А.С.	49, 50, 205, 337, 411, 412, 483, 489, 496, 516, 593, 611, 612, 615, 616, 617, 651	Овтин И.В.	619
Мезенцев Н.А.	23, 238, 250, 452, 500, 545	Овчар В.К.	466, 486, 518, 641
Меклер К.И.	251, 252, 267, 442, 521, 525, 529, 558, 561, 562, 563, 565, 566, 569, 572, 575, 578, 579	Огурцов А.Б.	
Мешков О.И.	49, 50, 205, 255, 337, 611, 612, 615, 616, 617	Окунев И.Н.	49, 50, 205, 337, 611, 612, 615, 616, 617
Мигинская Е.Г.	238, 500	Олейников В.П.	11п
Мигинский С.В.	444	Онучин А.П.	49, 50, 106, 107, 109, 118, 122, 126, 127, 130, 134, 136, 138, 145, 177, 337, 341, 358, 611, 612, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 7п, 11п
Мильштейн А.И.	102, 103, 104, 284	Орешкин С.Б.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617
Мироненко Л.А.	466, 486, 641	Орешонок В.В.	410
Митина Н.А.	439, 480	Орлов И.О.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617
Митянина Н.В.	13п	Осипов А.А.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617
Михайлов К.Ю.	333, 334, 336, 55п	Осипов В.Н.	493
Мишагин В.В.	191, 201, 216, 523, 570, 631, 4п	Отбоев А.В.	342, 358, 359, 514
Мишнев С.И.	49, 50, 337, 400, 611, 612, 615, 616, 617, 636, 638	Оттмар А.В.	249, 542, 543, 547
Морозов И.И.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 657	Павленко А.В.	506, 508, 513, 14п
Мурасов А.А.		Павлов В.М.	488, 501, 511
Мурахтин С.В.	197	Павлов О.А.	542, 543, 547
Мучной Н.Ю.	49, 50, 78, 124, 140, 152, 155, 163, 187, 337, 400, 414, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 611, 612, 615, 616, 617, 56п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п, 64п, 65п	Панасюк В.М.	494, 503, 593, 594
Мыскин О.К.	570	Панов А.Н.	246, 542, 543, 547
Нейфельд В.В.	49, 50, 205, 337, 400, 611, 612, 615, 616, 617	Панфилов А.Д.	
Немытов П.И.	213, 214, 496, 639	Панченко В.Е.	
Нестеренко И.Н.	339, 340, 359, 514, 7п, 11п	Папушев П.А.	294
Нефедов Н.Б.	205	Пархомчук В.В.	202, 225, 229, 232, 233, 250, 295, 296, 411, 428, 494, 503, 516, 594
Нехаев В.Е.		Пахтусова Е.В.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п
Никитин С.А.	49, 50, 222, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 658	Пачков А.А.	542, 543, 547
Николаев И.Б.	49, 50, 78, 124, 140, 152, 155, 163, 187, 222, 337, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 611, 612, 615, 616, 617, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п, 64п, 65п, 6А		
Николаев И.В.	542, 543, 547		
Николенко А.Д.	239, 240, 469, 474, 479, 651		
Николенко Д.М.	294, 400, 401, 636, 637, 638, 57п		
Образовский А.Е.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п		

Пелеганчук С.В.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 27, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 293, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617, 29п	Полуэктов А.О.	3, 4, 5, 6, 12, 36, 40, 47, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 76, 77, 99, 108, 111, 117, 120, 121, 123, 135, 141, 143, 144, 146, 147, 150, 153, 154, 156, 159, 161, 165, 166, 169, 170, 176, 188, 300, 301, 309, 310, 315, 316, 317, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 33п, 34п, 36п, 37п, 38п, 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п
Переведенцев Е.А.	333, 334, 336, 339, 340, 359, 514, 7п, 11п, 55п, 56п	Полянский А.В.	205
Персов Б.З.	466, 486, 641	Померанский А.А.	286
Пестов Ю.Н.	22, 42, 43, 44, 45, 46, 73, 74, 157, 158, 171, 333, 334, 336, 55п	Попик В.М.	264, 437, 454, 466, 486, 641
Пестриков Д.В.		Попов А.С.	333, 334, 336, 55п
Петренко А.В.	505, 11А	Попов С.С.	243, 251, 255, 521, 525, 528, 529, 534, 562, 563, 565, 566, 569, 578, 579, 629
Петриченков М.В.	205	Попов Ю.С.	333, 334, 336, 55п
Петров В.В.	49, 50, 205, 337, 611, 612, 615, 616, 617	Попова Н.И.	
Петров В.М.	204, 493, 515, 651, 13п	Поросев В.В.	293, 29п
Петрова Е.В.	235	Поступаев В.В.	243, 251, 252, 267, 352, 442, 521, 525, 529, 546, 553, 558, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 569, 572, 574, 575, 578, 579
Петрожицкий А.В.	202, 233, 296	Потапов С.И.	483
Пивоваров И.Л.		Присекин В.Г.	49, 50, 247, 337, 611, 612, 615, 616, 617
Пивоваров С.Г.	27, 49, 50, 333, 334, 336, 337, 415, 611, 612, 615, 616, 617, 55п	Приходько В.В.	195, 198, 211, 212, 357, 527, 531, 538, 544, 570, 624, 632, 634, 9п
Пилан А.М.	204, 466, 486, 493, 641, 651	Протопопов А.Ю.	496, 517
Пиминов П.А.	49, 50, 337, 608, 609, 610, 611, 612, 615, 616, 617, 662	Прохоров И.А..	526, 630, 631
Пиндюрин В.Ф.	235, 239, 240, 497, 472	Пупков Ю.А.	413
Пинженин Е.И.	533, 538	Пурескин Д.Н.	205, 483, 496, 497, 516, 542, 543, 547
Пирогов С.А.	333, 334, 336, 338, 55п	Путьмаков А.А.	516
Подобаев В.С.		Пята Е.Э.	414, 415, 11п, 56п
Полетаев И.В.	500	Радченко В.М.	484
Полосаткин С.В.	190, 251, 252, 267, 268, 431, 432, 442, 521, 523, 525, 529, 553, 561, 562, 563, 564, 565, 567, 568, 569, 572, 574, 575, 579, 625, 628	Разоренов В.В.	
Полухин В.А.	503	Ракшун Я.В.	449, 452, 463
		Растигеев С.А.	202, 232, 295
		Рахимов А.Р.	205
		Рачек И.А.	294, 400, 401, 636, 637, 638, 57п
		Ращенко В.В.	242
		Рева В.Б.	428, 485, 494, 503, 516, 593, 594
		Редин С.И.	333, 334, 336, 55п

Резникова Е.Ф.	457, 458, 464, 475		617
Резниченко А.В.	257, 258, 4А	Сингатулин Ш.Р.	411, 489, 650
Репков В.В.	466, 486, 517, 518, 641	Синицкий С.Л.	218, 228, 251, 252, 267, 269, 270, 272, 352, 435, 440, 442, 521, 525, 529, 546, 558, 559, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 574, 577, 578, 579
Ровенских А.Ф.	241, 243, 252, 267, 432, 442, 521, 525, 529, 558, 561, 562, 563, 565, 566, 569, 571, 572, 575, 578, 579	Синяткин С.В.	49, 50, 205, 337, 428, 608, 609, 610, 611, 612, 615, 616, 617, 651
Роговский Ю.А.	333, 334, 336, 339, 340, 358, 359, 360, 514, 7п, 11п, 55п	Скарбо Б.А.	220, 498, 508, 510, 513, 597
Романов А.Л.	339, 340, 342, 359, 360, 514, , 7п, 11п, 55п	Скляров В.Ф.	243, 251, 267, 442, 521, 525, 529, 558, 562, 563, 565, 566, 569, 578, 579
Ротов Е.А.		Сковородин Д.И.	253
Рубан А.А.	49, 50, 333, 334, 336, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 55п	Сковпень К.Ю.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 48, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 339, 340, 341, 342, 358, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 7п, 11п, 7А
Рувинский С.И.	205	Сковпень Ю.И.	106, 107, 109, 118, 119, 126, 127, 130, 134, 136, 177
Руденко А.С.	273	Скоробогатов Д.Н.	485, 494, 497, 516
Рыбицкая Т.В.	205, 220, 498, 508, 510, 513, 596	Скороход Д.А.	466
Рыжененков А.Е.	333, 334, 336, 55п	Скринский А.Н.	49, 50, 250, 337, 339, 340, 341, 342, 358, 359, 360, 466, 486, 504, 514, 611, 612, 615, 616, 617, 641, 7п, 11п
Рыскулов Н.М.	333, 334, 336, 55п	Смалюк В.В.	49, 50, 205, 255, 256, 337, 410, 413, 611, 612, 615, 616, 617
Савинов Г.А.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617	Снопков Р.Г.	27
Савкин В.Я.	201, 211, 535, 538, 570, 648	Созинов Г.И.	466
Садыков Р.Ш.	400, 636, 637, 638	Соколов А.В.	49, 50, 293, 298, 337, 600, 611, 612, 615, 616, 617, 28п, 29п, 30п
Сазанский В.Я.		Соколов В.В.	587, 588, 27п
Саликова Т.В.	263, 466, 486, 641	Солдаткина Е.И.	211, 212, 538, 570
Салимов Р.А.	193, 214, 495, 639	Солдатов А.Е.	
Сальников С.Г.	281	Солодов Е.П.	106, 107, 109, 118, 122, 126,
Сандырев В.К.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617		
Санин А.Л.	629, 642, 648		
Седляров И.К.	466, 486, 493, 641, 651		
Селиванов А.Н.	236		
Селиванов П.А.	219		
Семенов А.В.	495, 639		
Семенов А.И.	454		
Семенов А.М.	205, 413, 651		
Семенов Ю.И.			
Сенченко А.И.			
Сеньков Д.В.	205, 483, 496, 516		
Сердобинцев Г.В.	466, 486, 641, 651		
Середняков С.И.	106, 107, 109, 118, 122, 126, 127, 130, 134, 136, 138, 145, 177, 205, 339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п		
Середняков С.С.	219, 261, 263, 466, 486, 518, 641		
Сидоров А.В.	195		
Силагадзе З.К.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п		
Симонов Е.А.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616,		

	127, 130, 134, 136, 138, 145, 177, 333, 334, 336, 55п	Талышев А.А.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 26, 27, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 217, 333, 334, 336, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617, 619, 620, 55п
Соломахин А.Л.	194, 211, 212, 538, 570	Тарарышкин С.В.	219, 466, 486, 518, 641, 651
Сорокин А.В.	191, 526, 629, 630	Тарнецкий В.В.	
Сорокин И.Н.	344, 487, 509, 519, 520, 649, 2п, 3п, 5п, 6п	Таскаев С.Ю.	344, 345, 487, 509, 519, 520, 649, 2п, 3п, 5п, 6п
Сорокина Н.В.	252, 529, 561, 565, 579	Таюрский В.А.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617
Сороколетов Д.С.	452, 463	Текутьев А.И.	7п, 11п
Станкевич А.С.		Тельнов В.И.	49, 50, 337, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 615, 616, 617, 51п, 52п
Старокожев С.А.	537	Терехов А.В.	
Старостенко А.А.	220, 491, 498, 508, 510, 513, 595	Терехов И.С.	104, 284
Старостенко Д.А.	246, 542, 543, 547	Тимофеев И.В.	189, 346, 347, 558, 560, 562, 563, 565, 566, 567, 578, 579, 50п
Старостин А.С.	27	Титов В.М.	294, 333, 334, 336, 443, 467, 55п
Старостина Е.В.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617	Тиунов М.А.	344, 487, 509, 519, 523, 570, 629, 647, 648, 649, 2п, 3п, 5п
Степанов В.Д.	218, 267, 440, 442, 529, 558, 559, 562, 565, 566, 577, 578, 579	Тихонов Ю.А.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 26, 27, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 217, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617
Стешов А.Г.	651		
Страховенко В.М.	103, 608, 609, 610		
Стрельников Н.О.			
Ступишин Н.В.	350, 628, 629		
Судников А.В.	252, 529, 561, 562, 565, 569, 572, 579		
Суляев Ю.С.	241, 252, 525, 529, 558, 562, 565, 579		
Сурин И.К.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п		
Суханов А.В.	205		
Суханов Д.П.	410		
Сухарев А.М.	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 26, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 164, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 217, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617		
Сухина Б.Н.			
Сыроватин В.М.	23, 238, 500		

	367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 611, 612, 615, 616, 617, 7п, 11п		
Тихонюк И.И.			
Ткачев А.А.	526, 630		
Ткаченко В.О.			
Тодышев К.Ю.	49, 50, 106, 107, 109, 118, 122, 126, 127, 130, 134, 136, 138, 145, 177, 337, 419, 611, 612, 615, 616, 617, 8А		
Токарев Ю.Ф.	542, 543, 547		
Толочко Б.П.	237, 294, 406, 443, 456, 461, 477, 478, 545		
Топорков Д.К.	400, 401, 636, 637, 638		
Трибендис А.Г.	219, 613, 614		
Трунев Ю.А.	211, 430, 432, 529, 539, 554, 562, 564, 565, 569, 570, 571, 572, 575		
Тумайкин Г.М.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617		
Украинцев Ю.Г.	289, 290, 291, 292		
Усов Ю.В.	49, 50, 137, 151, 302, 306, 307, 311, 312, 314, 337, 339, 340, 341, 358, 360, 611, 612, 615, 616, 617, 7п, 11п		
Уткин А.В.	24, 205		
Фадеев С.Н.	193, 214, 495, 499, 639, 640		
Фадин В.С.	257, 258, 275, 276, 277, 581, 582, 583, 584, 10п, 17п		
Факторович Б.Л.	484		
Фатькин Г.А.	542, 543, 547, 9А		
Федотов М.Г.	236, 261, 453, 462		
Федотович Г.В.	333, 334, 336, 55п		
Фельдман А.Л.	286		
Филипченко А.В.	651		
Фролов А.Р.	202		
Хавин Н.Г.	24		
Хазин Б.И.	333, 334, 336, 55п		
Харламов А.Г.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п		
Харламова Т.А.	49, 50, 337, 611, 612, 615, 616, 617		
Хацимовский В.М.	586, 24п, 25п, 26п		
Хильченко А.Д.	241, 534		
Холопов М.А.	415, 463		
Хриплович И.Б.	41, 207, 208, 250, 273		
Хрущев С.В.	238, 500		
Цидулко Ю.А.	33, 522, 544, 567, 623, 624,		
		625, 632, 634	
		23, 238, 500	
Цуканов В.М.		205	
Цуканова Л.А.		220, 498, 508, 510, 513, 598	
Цыганов А.С.		213, 407	
Чакин И.К.		205, 489	
Чеблаков П.Б.		497	
Чекавинский В.А.		205, 410, 485, 492	
Черепанов В.П.			
Черепков В.Г.			
Чернов К.Н.		466, 486, 641, 651	
Черноштанов И.С.		522, 623	
Черняк В.Л.		206, 585, 22п, 23п	
Чернякин А.Д.		205, 651	
Ческидов В.Г.		205, 466, 486, 641	
Чопорова Ю.Ю.		262, 438, 446, 482, 438, 446, 482	
Чудаев В.Я.		520, 6п, 8п, 12п	
Чупыра А.Г.		411, 650	
Чуркин И.Н.		205, 651	
Шадрин Н.С.		469	
Шамакина Н.С.		8п, 12п	
Шамов А.Г.		1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 38, 39, 48, 49, 50, 53, 56, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 125, 129, 131, 132, 133, 139, 142, 162, 168, 172, 174, 175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 337, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 419, 611, 612, 615, 616, 617	
Шатилов Д.Н.		49, 50, 337, 416, 611, 612, 615, 616, 617, 652, 653, 654, 655, 656, 657	
Шатунов П.Ю.		333, 334, 336, 339, 340, 342, 359, 360, 514, 7п, 11п, 55п	
Шатунов Ю.М.		209, 250, 333, 334, 336, 339, 340, 341, 342, 358, 359, 360, 514, 7п, 11п, 55п, 56п	
Шварц Б.А.		49, 50, 108, 120, 137, 144, 146, 156, 161, 167, 169, 170, 173, 304, 305, 306, 307, 308, 313, 318, 333, 334, 336, 337, 611,	

	612, 615, 616, 617, 31п, 32п, 35п, 39п, 48п, 55п	Шукаев А.Н.	341, 7п, 11п
Шварц Д.Б.	333, 334, 336, 342, 358, 359, 360, 514, 7п, 11п, 55п	Шульженко Г.И.	201, 211, 570
Шведов Д.А.	205, 651	Щеглов М.А.	263, 447, 466, 486, 493, 641
Шебалин В.Е.	137, 144, 146, 148, 151, 156, 167, 169, 170, 173, 304, 306, 308, 314, 333, 334, 336, 35п, 55п	Щеголев Л.М.	205
Шевченко О.А.	466, 486, 502, 504, 641	Щудло И.М.	344, 487, 509, 519, 649, 3п, 5п
Шемякин Д.Н.	333, 334, 336, 55п	Эйдельман С.И.	3, 4, 5, 6, 12, 36, 40, 47, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 76, 77, 99, 108, 111, 117, 121, 123, 128, 135, 137, 141, 143, 144, 146, 147, 148, 150, 151, 153, 154, 156, 159, 161, 165, 166, 167, 170, 173, 176, 188, 190, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 611, 612, 615, 616, 617, 31п, 32п, 33п, 34п, 35п, 36п, 37п, 38п, 39п, 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 47п, 48п, 55п
Шемякина Е.О.	293, 298, 600, 28п, 29п, 30п	Эйдельман Ю.И.	
Шеромов М.А.		Эпштейн Л.Б.	248, 333, 334, 336, 55п
Шестаков Ю.В.	400, 401, 636, 637, 638	Юдин В.Д.	651
Шехтман Л.И.	3, 4, 5, 6, 12, 36, 40, 47, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 77, 99, 111, 117, 121, 123, 135, 141, 143, 147, 150, 153, 154, 159, 160, 165, 166, 176, 188, 293, 294, 300, 301, 309, 310, 315, 316, 317, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 461, 478, 29п, 33п, 34п, 36п, 37п, 38п 40п, 41п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 1А	Юдин Ю.В.	248, 55п
Шиховцев И.В.	629, 630, 631, 647	Юров Д.В.	357, 531, 544, 624, 632, 634
Шичков Д.С.	506, 508, 513, 14п	Юшков А.Н.	49, 50, 106, 107, 109, 118, 122, 126, 127, 130, 134, 136, 138, 145, 177, 337, 611, 612, 615, 616, 617
Шиянков С.В.	25, 205	Яминов К.Р.	205, 489
Шкаруба В.А.	238, 500	Яровой В.А.	571, 575
Шошин А.А.	431, 529, 553, 562, 564, 565, 567, 573, 574, 579		
Штарклев Е.А.	484		
Штоль Д.А.	339, 340, 341, 342, 358, 360, 7п, 11п		
Шубин Е.И.	485		

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА СО РАН

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ
2012

Обложка Е.Д. Бендер

Ответственный за выпуск А.В. Васильев
Работа поступила 10.02. 2013 г.

Сдано в набор 28.03. 2013 г.
Подписано в печать 23.04. 2013 г.
Формат 60x90 1/16 Объем 15,5 печ.л., 12.4 уч.-изд.л.
Тираж 200 экз. Бесплатно. Заказ № 7

Обработано на РС и отпечатано
на ротапинтере «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11