

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

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ  
2013

Новосибирск 2014



# Оглавление

<b>Введение</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Физика элементарных частиц</b> .....	<b>13</b>
1.1 Детектор КМД-3 .....	15
1.2 Детектор СНД .....	18
1.2.1 Эксперименты на ВЭПП-2000 .....	18
1.2.2 Состояние детектора .....	18
1.2.3 Состояние программного обеспечения .....	19
1.2.4 Анализ данных СНД .....	20
1.3 Детектор КЕДР .....	25
1.4 Результаты работы детектора КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М .....	27
1.4.1 Проверка лептонной универсальности в распадах $J/\psi$ -мезона .....	27
1.4.2 Измерение вероятности распада $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$ и параметров $\eta_c$ мезона .....	28
1.4.3 Измерение $\Gamma_{ee}\Gamma_{\mu\mu}/\Gamma_{\psi(2S)}$ -мезона .....	28
1.4.4 Измерение величины $\Gamma_{ee}\Gamma_{hadr}/\Gamma_{J/\psi}$ -мезона .....	29
1.5 Электроника детекторов для ФВЭ .....	30
1.6 Рентгеновские детекторы .....	30
1.7 Система сбора данных детектора BELLE-II .....	30
1.9 Эксперимент BELLE .....	31
1.9.1 Основные результаты .....	31
1.9.2 Анализ данных .....	31
1.9.3 Модернизация детектора .....	34
1.10 Эксперимент BABAR .....	37
1.11 Участие в эксперименте ATLAS на Большом адронном коллайдере .....	39
1.12 Эксперимент LHCb .....	42
1.12.1 Техническое обеспечение работы детектора LHCb .....	42
1.12.2 Физические результаты .....	43
<b>2. Электро- и фотоядерная физика</b> .....	<b>47</b>
2.1 Эксперименты с внутренними мишенями .....	49
<b>3. Теоретическая физика</b> .....	<b>53</b>
3.1 КХД .....	55
3.2 Теория хаоса .....	57
3.3 ФЭЧ .....	58
3.4 Теория гравитации .....	59
<b>4. Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез</b> .....	<b>61</b>
4.1 ЭЦР нагрев плазмы в ГДЛ .....	63
4.2 Установка ГОЛ-3 .....	67
4.2.1 Описание и основные режимы работы установки .....	67
4.2.2 Поляризация субтерагерцового излучения плазмы при инжекции релятивистского электронного пучка .....	68
4.2.3 Дуговой источник предварительной плазмы .....	69
4.2.4 Численное моделирование формирования и транспортировки электронного пучка на установке ГОЛ-3 .....	70
4.2.5 Развитие технологии источников длинноимпульсных электронных пучков с плазменным эмиттером .....	70
4.2.6 Управление вращением плазмы методом инжекции электронного пучка .....	71
4.2.7 Перспективы развития ГОЛ-3 .....	72
4.2.8 Заключение .....	73

4.3	Теория плазмы .....	74
4.3.1	Альфвеновская ионно-циклотронная неустойчивость .....	74
4.3.2	Исследование модуляционной неустойчивости ленгмюровской волны накачки в существенно немаксвелловской плазме .....	74
4.3.3	Точечная кинетическая теория неустойчивости горячего электронного пучка в горячей замагниченной плазме .....	74
4.3.4	Теоретические исследования улучшенного продольного удержания плазмы в гофрированном поле .....	74
4.4	Инжекторы пучков быстрых атомов и ионов .....	75
4.4.1	Инжекторы пучков быстрых атомов .....	75
4.4.2	Разработка мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода ...	75
4.5	Исследования динамики спектра мощного миллиметрового излучения на установке ЭЛМИ .....	76
4.5.1	Введение .....	76
4.5.2	Условия эксперимента .....	76
4.5.3	Результаты исследования .....	77
4.5.4	Подготовка экспериментов по двухстадийной генерации терагерцового излучения .	78
4.6	Установка ГДМЛ-Т .....	79
4.6.1	Введение .....	79
4.6.2	Конструкция установки ГДМЛ-Т .....	79
4.6.3	Разработка магнитной системы установки ГДМЛ-Т .....	80
4.6.4	Заключение .....	81
<b>5.</b>	<b>Установки со встречными электрон-позитронными пучками .....</b>	<b>83</b>
5.1	Работа ВЭПП-2000 в 2013 году и модернизация инжекционной части комплекса .....	85
5.1.1	Набор статистики в диапазоне 2(160-500) МэВ с детекторами КМД-3 и СНД .....	85
5.1.2	Модернизация БЭП и канал К-500 .....	87
5.2	Ускорительный комплекс ВЭПП-4 .....	89
5.2.1	Распределение рабочего времени .....	89
5.2.2	Эксперимент ДЕЙТРОН на ВЭПП-3 .....	89
5.2.3	Эксперимент по проверке СРТ-инвариантности .....	90
5.2.4	Способ повышения светимости коллайдера ВЭПП-4М на низкой энергии .....	92
5.2.5	Работы по модернизации комплекса ВЭПП-4 .....	93
5.3	Инжекционный комплекс ВЭПП-5 .....	95
5.4	Запуск бустера NSLS-II .....	95
5.5	Линейный индукционный ускоритель ЛИУ-20Р .....	96
5.6	Электронно-лучевая сварка .....	96
5.6.1	Эксперименты на «Стенде электронно-лучевой сварки» .....	96
5.6.2	Разработка вакуумной системы и технологии её производства для электронпозитронных коллайдеров высокой интенсивности .....	97
5.7	Соединительный модуль для европейского XFEL (DESY) .....	98
5.8	Новые учебные пособия для кафедры ускорителей ФФ НГУ .....	99
5.9	Установка электронного охлаждения .....	101
5.9.1	Установка электронного охлаждения для немецкого синхротрона COSY .....	101
5.9.2	Система электронного охлаждения для бустера НИКА .....	102
5.10	Ускорительный масс-спектрометр .....	103
5.11	Вакуумные системы .....	103
<b>6.</b>	<b>Синхротронное излучение и лазеры на свободных электронах .....</b>	<b>105</b>
6.1	Введение .....	107
6.2	Работа на пучках СИ из ВЭПП-3 .....	107
6.2.1	Станция «Экстремального состояния вещества» .....	107
6.2.2	Станция «LIGA-технология и рентгеновская литография» .....	110
6.2.3	Станции «Аномальное рассеяние» и «Презиционная дифрактометрия» .....	112

6.2.4	Станция «Рентгенофлуоресцентный анализ» .....	115
6.2.5	Станция «Дифрактометрия с использованием жесткого рентгеновского излучения» .....	120
6.2.6	Станция «Дифракционное кино» .....	122
6.2.7	Станция «EXAFS-спектроскопия» .....	123
6.3	Работы на пучках СИ из ВЭПП-4М .....	126
6.3.1	Станция «Космос» .....	126
6.3.2	Станция «Пламя» .....	127
6.4	Работа с пучками терагерцового излучения .....	129
6.4.1	Новосибирский терагерцовый лазер на свободных электронах .....	129
6.4.2	Эксперименты на пучках ТГц излучения .....	129
6.4.3	Модернизация ЛСЭ и УР .....	130
6.4.4	Совещание по ускорителям-рекуператорам .....	131
6.4.5	Результаты 2013 года и планы на 2014 год .....	132
6.5	Разработка и создание специализированных генераторов СИ .....	133
6.6	Разработка магнитной структуры нового источника СИ .....	135
6.6.1	Общая концепция .....	135
6.6.2	Магнитная структура .....	136
<b>7.</b>	<b>Радиофизика и электроника .....</b>	<b>137</b>
7.1	Источники питания электрофизических установок .....	138
7.2	Высоковольтные источники постоянного стабилизированного напряжения .....	140
7.2.1	Источники высоковольтного питания атомарных инжекторов для диагностики и нагрева плазмы в плазменных установках .....	140
7.2.2	Источники высоковольтного питания электронных ускорительных трубок .....	141
7.2.3	Импульсные источники питания электромагнитов ускорительных комплексов .....	141
7.2.4	Электроника для диагностики и управления положением пучков заряженных частиц .....	141
7.3	Разработка нестандартной и специальной электроники .....	142
7.4	Исследования, связанные с моделированием и решением электростатических и электродинамических задач ускорительной физики .....	142
7.5	Новая высокочастотная система для накопителя БЭП .....	143
7.6	Пассивный одномодовый резонатор на частоту 816 МГц .....	144
7.7	Установка динамического разведения пучков для ВЭПП-4 .....	144
7.8	Разработка высокочастотных систем для мощных инжекторов пучков нейтральных атомов для плазменных установок .....	145
7.9	Ускоряющие структуры CCDTL для LINAC4, CERN .....	146
7.10	Ускоряющие высокочастотные станции ионного бустера коллайдера NICA-MPD .....	147
7.11	Восстановление высокочастотных систем 325 МГц электронного ускорителя в научном центре KAERI, Ю. Корея .....	148
7.12	Высокочастотный инжектор микротрона-рекуператора .....	149
7.13	Высокочастотный инжектор для ускорителя РФЯЦ-ВНИИЭФ .....	149
7.14	Модернизация высокочастотной системы микротрона-рекуператора .....	150
7.15	Генератор на частоту 100 МГц с выходной мощностью 540 кВт в непрерывном режиме .....	150
7.16	Модернизация высокочастотных генераторов комплекса «Сибирь-2» .....	151
7.17	Разработка аппаратуры и систем автоматизации физических исследований .....	152
7.17.1	Электроника для контроля и управления кулера COSY .....	152
7.17.2	Измерительная электроника для бустера NSLS II .....	152
7.17.3	Контроллеры ускоряющих ВЧ-станций бустера NICA .....	154
7.17.4	Прецизионные устройства .....	154
7.17.5	Исследования, направленные на улучшение стабильности и снижения уровня пульсаций поля в магнитах ВЭПП-4 до уровня $5 \cdot 10^{-7}$ .....	155
7.17.6	Системы магнитных измерений на основе индукционного метода .....	156
7.17.7	Производство и эксплуатация ранее созданной аппаратуры .....	157

<b>8. Мощные электронные ускорители .....</b>	<b>159</b>
8.1 Поставки ускорителей типа ИЛУ .....	161
8.2 Разработка радиационнотермического процесса синтеза ферритов .....	162
8.3 Разработка новых радиационных технологий .....	162
8.4 Научные и технологические применения промышленных ускорителей серии ЭЛВ .....	163
8.4.1 Поставки ускорителей .....	163
8.4.2 Совместные Эксперименты .....	163
8.4.3 Получение нанопорошков с применением сфокусированного электронного пучка, выпущенного в атмосферу .....	165
8.4.4 Наплавка порошковых материалов на металлы .....	165
8.4.5 Возможные применения нанопорошков .....	166
<b>9. Физика для медицины .....</b>	<b>167</b>
9.1 Статус работ по БНЗТ .....	169
9.1.1 Введение .....	169
9.1.2 Измерение спектра нейтронов .....	169
9.1.3 Пространственное распределение и интенсивность генерируемого излучения .....	170
9.1.4 Влияние перезарядного газа на работу ускорителя-тандема .....	171
9.1.5 Модернизация установки .....	171
9.1.6 Результаты и перспективы .....	172
9.2 Детекторы рентгеновского излучения для медицины и досмотра людей .....	172
9.2.1 Микродозовая Цифровая Рентгенографическая Установка (МЦРУ) «Сибирь» .....	172
9.2.2 Система Рентгеновского Контроля (СРК) «Сибскан» для досмотра людей.....	173
<b>Библиография .....</b>	<b>175</b>
<b>Список публикаций .....</b>	<b>175</b>
Препринты .....	220
Авторефераты .....	223
Участие в конференциях .....	224
<b>Соглашения о сотрудничестве .....</b>	<b>226</b>
<b>Состав научных сотрудников .....</b>	<b>229</b>
Члены Российской академии наук .....	229
Дирекция .....	229
Учёный совет .....	229
Секции учёного совета по направлениям .....	230
Научные работники и их публикации .....	233

## ВВЕДЕНИЕ

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

В настоящее время ИЯФ СО РАН – самый крупный академический институт страны (более 2800 сотрудников). Среди 411 научных сотрудников Института – 10 академиков и членов-корреспондентов РАН, 61 доктор и 167 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 более 60 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 года);
- 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 годы);
- разработка квантовой электродинамики в периодических структурах, в том числе в лазерной волне (1972 -1997 годы);
- 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 годы);
- предсказание эффекта когерентности при излучении глюонов в КХД и изучение его влияния на адронные распределения (1981-1982 годы).
- 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 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 «охладителями» ускорительные комплексы тяжелых ионов в Германии, Китае, ЦЕРНе (1965-2005 годы);
- изобретение и разработка новых типов мощных ВЧ генераторов (гирокон, релятивистский клистрон, магникон), с 1967 года;
- предложение метода линейных электрон-позитронных встречных пучков с целью получения сверхвысоких энергий (1968 год), представление физически самосогласованного проекта, (1978 год);
- разработка элементов сильнополевой импульсной магнитной оптики (X-линзы, литиевые линзы), используемых в настоящее время в различных лабораториях, (с 1962 года);
- изобретение и экспериментальная проверка метода перезарядной инъекции, применяемого в настоящее время на всех крупных протонных ускорителях, (1960 -1964 годы);
- теоретические и экспериментальные исследования получения поляризованных пучков и спиновой динамики в коллайдерах и ускорителях, концептуальная разработка и создание высокоэффективных спиновых ротаторов и «сибирских змеек» для ряда ускорительных комплексов, (1966 - 1995 годы);
- теоретические и экспериментальные исследования стохастической неустойчивости и "эффектов встречи", ограничивающих светимость установок со встречными пучками, (с 1966 года);

#### **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 гг.);
- 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 годы);
- 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 исследований 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 25 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 на сотни миллионов 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 отличает 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.

В 2013 году основу государственного задания Института составляли 26 "базовых" проектов в рамках 8 программ по двум направлениям Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы. Институт был глубоко интегрирован в работы РАН и СО РАН, осуществляя выполнение 18 проектов по программам

Президиума РАН и отделений РАН, 23 проектов в рамках интеграционных программ СО РАН. Институт является исполнителем 13 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; 49 проектов РФФИ.

Ежегодно сотрудники Института представляют около 200 докладов на международных и российских конференциях, публикуют около 500 статей в ведущих российских и зарубежных научных журналах, издают монографии и учебные пособия. Согласно материалам, опубликованным в обзоре "Библиометрические показатели Российской науки и РАН" (Вестник РАН, июнь 2009 года, том 79, № 6), количество ссылок на работы ИЯФ СО РАН за 1997-2007 годы, учитываемых в авторитетной международной базе данных 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.

#### **Важнейшими достижениями 2013 года Ученый Совет ИЯФ признал следующие результаты:**

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

1) В эксперименте с детектором СНД на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 впервые измерены сечения процессов с магнитно-дипольными радиационными распадами возбужденных векторных мезонов  $\rho(1450)$ ,  $\phi(1680) \rightarrow \eta \gamma$ .

2) В эксперименте с детектором КМД-3 на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 с лучшей в мире точностью измерено аномальное поведение сечения электрон-позитронной аннигиляции в шесть пионов при энергии встречных пучков, соответствующей порогу рождения нуклонантинуклонной пары.

3) В рамках международной коллаборации в эксперименте MEG (Швейцария) установлено наиболее чувствительное ограничение, составляющее  $5,7 \times 10^{-13}$ , на вероятность нарушающего закон сохранения лептонного числа безнейтринного распада положительного мюона на позитрон и гамма квант, которое в 20 раз улучшает предыдущий экспериментальный результат.

4) В эксперименте BABAR (Стэнфорд, США) в диапазоне энергии от порога до 6,5 ГэВ с наилучшей в мире точностью измерено сечение процесса электрон-позитронной аннигиляции в протон-

антипротонную пару, при энергии выше 4,2 ГэВ сечение измерено впервые.

5) В эксперименте с детектором КЕДР на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М с лучшей в мире точностью измерено отношение лептонных ширин в прямых распадах  $J/\psi$ -мезона.

6) Предложен новый эффективный механизм генерации термоэлектричества в нелинейной структуре - кристалле Вигнера в периодическом потенциале.

7) Впервые показано, что во времениподобной области, вблизи порога рождения нуклонантинуклонной пары, изоскалярный формфактор нуклона много больше изовекторного.

8) Создана высокопроизводительная инфраструктура для обработки данных экспериментов по ФВЭ на детекторах в ИЯФ СО РАН, на Большом Адронном Коллайдере и других зарубежных экспериментах на базе суперкомпьютеров ННЦ и НГУ.

#### **В области физики плазмы:**

1) На установке ГДЛ при дополнительном СВЧ нагреве плазмы достигнута рекордная для квазистационарных магнитных ловушек открытого типа величина электронной температуры 400 эВ (совместно с ИПФ РАН и НГУ)

2) На установке ГОЛ-3 впервые продемонстрирована возможность управления вращением плазмы путем инжекции в нее электронного пучка

3) Предложена и обоснована численным моделированием схема плазменного кильватерного ускорения с контролируемой самомодуляцией длинного протонного пучка-драйвера, открывающая перспективу увеличения максимальной энергии электронных и позитронных пучков на два порядка

4) На ускорительном источнике эпитепловых нейтронов на клеточных культурах впервые продемонстрировано избирательное уничтожение клеток злокачественных опухолей методом бор-нейтронозахватной терапии (совместно с ИЦиГ СО РАН и НГМУ).

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

1) Осуществлен физический запуск уникального высокопроизводительного источника позитронов для ускорительных комплексов Института, достигнут рекордный коэффициент конверсии электронов в позитроны, составляющий  $0,14 \text{ ГэВ}^{-1}$ .

2) На электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 в диапазоне энергии 320 – 1000 МэВ в системе центра масс достигнуто рекордное значение «параметра встречных пучков» и проведен эксперимент с двумя детекторами СНД и КМД-3 с рекордной интегральной светимостью.

3) Разработана методика анализа биомедицинских образцов и проведены первые в России эксперименты по исследованию токсичности и фармакокинетики химических соединений с использованием сверх-

чувствительного метода анализа – ускорительной масс-спектрометрии (совместно с ИК СО РАН и НГУ).

4) Разработана, изготовлена и поставлена в ЦЕРН (Швейцария) ускоряющая секция для нового инжектора Большого адронного коллайдера с оригинальной ускоряющей структурой, впервые реализованная в низкочастотном УКВ диапазоне.

5) В исследовательском центре Юлиха (Германия) в ходе испытаний разработанной и изготовленной в ИЯФ СО РАН уникальной высоковольтной системы электронного охлаждения температура протонного пучка в немецком синхротроне COSY уменьшена в 50 раз.

6) Разработаны, изготовлены и запущены в эксплуатацию в лаборатории DESY (Германия) уникальные криогенные стенды для испытания ускорительных модулей Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах (XFEL).

7) Разработаны, изготовлены и установлены в международных центрах синхротронного излучения уникальные сверхпроводящие многополюсные вигглеры с полем 4,2 и 7,5 Тесла для генерации мощного рентгеновского излучения для биомедицинских исследований.

8) Создана аналитическая теория и выполнены экспериментальные исследования распространения поверхностных плазмон-поляритонов вдоль интерфейсов металл-диэлектрик и их дифракции на границе в терагерцовом диапазоне.

В 2013 году Игнатову Ф.В. и Тодышеву К.Ю. присуждена Премия Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых учёных за 2012 год за цикл работ по прецизионному исследованию свойств элементарных частиц на встречных электронно-позитронных пучках (указ Президента Российской Федерации от 7 февраля 2013 года № 46 "О присуждении премий Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых учёных за 2012 год")

Медаль Российской академии наук для молодых ученых по итогам конкурса 2012 года в области ядерной физики за работу «Разработка теории реджезации элементарных частиц в следующем за главным логарифмическом приближении» присуждена коллективу в составе: Грабовский А.В., Козлов М.Г., Резниченко А.В. (постановление Президиума Российской академии наук от 19 февраля 2013 года № 30)

Именная премия 2013 года Правительства Новосибирской области в номинации «разработка или создание приборов, методик, технологий и новой научно-технической продукции» за цикл работ по теме «Генерация сфокусированных атомарных пучков для термоядерных установок» присуждена коллективу в составе: Листопад А.А., Колмогоров А.В. и Ткачев А.А.

Именная премия 2013 года Правительства Новосибирской области в номинации «технические науки» за цикл работ по теме «Создание комплекса технических средств для исследований в области импульсной рентгенографии» присуждена коллективу в составе: Фатькин Г.А. и Павлено А.В.

Именная стипендия Правительства Новосибирской области для аспирантов в 2014 году присуждена: Лемзякову А.Г., Чопоровой Ю.Ю., Шемякину Д.А. и Щудло И.М.

Коллективы научных школ Института под руководством академиков Кулипанова Г.Н., Скринского А.Н., профессоров Иванова А.А. и Онучина А.П. стали победителями конкурса 2014 Совета по грантам при Президенте РФ по поддержке ведущих научных школ (НШ-2014), подтвердив статус ведущих научных школ на 2014-2015 годы.

Лауреатом конкурса 2014 года Совета по грантам при Президенте РФ по поддержке молодых ученых – кандидатов наук (МК-2014) стал Левичев А.Е.

Лауреатами конкурса на получение именной стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых в 2013 году стали Иванова А.А., Кудрявцев В.Н. и Харламова Т.А.. Общее число молодых ученых – именных стипендиатов Президента Российской Федерации – 10 человек.

Скляр В.Ф. и Каминский В.В. стали лауреатами конкурса на соискание стипендии, соответственно, Президента и Правительства Российской Федерации, для аспирантов вузов.

Памятным знаком «За труд на благо города» в честь 120-летия со дня основания Новосибирска в 2013 году награждено 525 сотрудников Института.

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

Для учащихся, студентов, преподавателей школ и вузов, сотрудников других организаций и гостей Института было проведено более 50 экскурсий по установкам ИЯФ, которые посетило около 2000 человек, проведены выездные лекции в новосибирских школах.



1

# ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ



### 1.1. ДЕТЕКТОР КМД-3

В течение 2013 года с детектором КМД-3, фотография которого показана на рис. 1.1.1., было выполнено пять сеансов набора данных, интеграл светимости в которых составил  $25 \text{ пб}^{-1}$ , было записано около 25 ТБ данных.

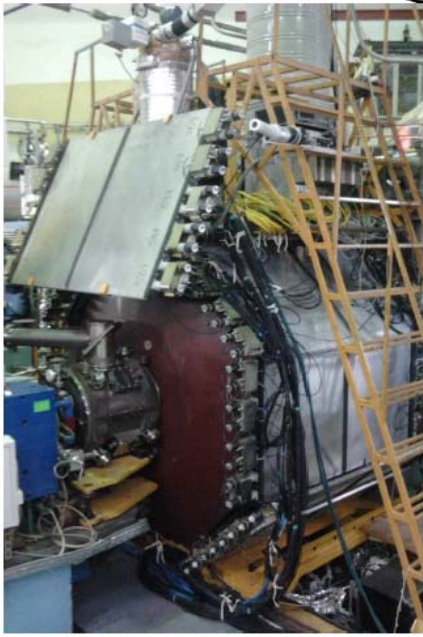


Рис. 1.1.1. Детектор КМД-3 в экспериментальном зале ВЭПП-2000.

Во время работы велось непрерывное измерение энергии методом обратного комптоновского рассеяния. График набора данных с детектором КМД-3 в 2010 — 2013 годах показан на рис. 1.1.2

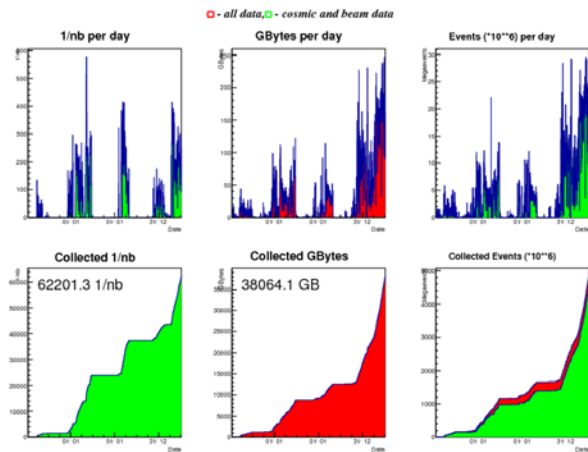


Рис.1.1.2. График набора данных с детектором КМД-3 в 2010 - 2013 годах

Экспериментальный сезон 2013 года был самым продолжительным: детектор КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000 непрерывно набирал данные в течение 7

месяцев. В первом сеансе работы, выполненном еще в ноябре 2012 года, был набран небольшой ( $0,68 \text{ пб}^{-1}$ ) интеграл светимости в области энергии  $\phi(1020)$  мезона. Затем с детектором КМД-3 был проведен эксперимент (интеграл светимости  $0,23 \text{ пб}^{-1}$ ) в области энергии  $\omega(782)$  мезона. Эти два сеанса позволили изучить параметры детектора в условиях работы на энергии ниже 1 ГэВ в системе центра масс и подготовиться к набору интеграла светимости  $6,2 \text{ пб}^{-1}$  в диапазоне энергии  $0,32 - 0,98 \text{ ГэВ}$  в системе центра масс, который начался в начале декабря 2012 года и продолжался до середины апреля 2013 года. Данная область энергии является очень важной с точки зрения изучения процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ . Сечение этого процесса дает основной вклад в величину и в ошибку определения адронной поляризации вакуума при вычислении аномального магнитного момента мюона. В соответствии с этим требованием, одной из главных задач экспериментов с детектором КМД-3 является измерение сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  с систематической точностью  $0,35\%$ . На рис. 1.1.3. показана относительная статистическая точность измерения сечения рождения

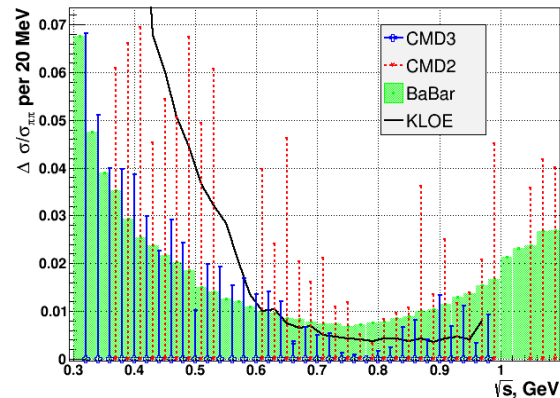


Рис. 1.1.3. Относительная статистическая точность измерения сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  в эксперименте КМД-3 в сравнение с результатами других аналогичных измерений.

пары пионов, полученная при анализе данных 2013 года в области энергии  $0,32 - 0,98 \text{ ГэВ}$ . Видно, что точность эксперимента КМД-3 во всем диапазоне энергий сравнима со среднемировой, а в области  $\rho(770)$  резонанса имеет рекордно высокое значение. Кроме того, в этом же эксперименте впервые в истории  $e^+e^-$  коллайдеров были проведены измерения при энергии  $0,32 \text{ ГэВ}$ , что практически соответствует порогу рождения адронов.

После успешного сканирования области  $\rho(770)$  мезона в апреле-мае 2013 года был проведен экспериментальный заход на энергии  $\phi(1020)$  резонанса, интеграл светимости в котором составил  $6,2 \text{ пб}^{-1}$ . Затем в течение мая-июня 2013 года в районе  $\omega(782)$  мезона был набран рекордный интеграл светимости  $8,6 \text{ пб}^{-1}$ . И в заключении экспери-

ментального сезона 2013 года в течении двух недель в июне комплекс КМД-3 – ВЭПП-2000 работал в одной энергетической точке 0,958 ГэВ в системе центра масс. Этот заход позволил набрать интеграл светимости  $2,7 \text{ пб}^{-1}$ . На основе этой статистики будет изучаться прямое двухфотонное рождение  $\eta(958)$  мезона, масса которого равна 0,958 ГэВ. После этого сеанса набора данных комплекс был остановлен для плановой модернизации.

В 2013 году был достигнут прогресс в методике определения светимости. На детекторе КМД-3 светимость определяется по двум процессам  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$  и  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ . Значения светимости, определенные с помощью данных процедур во всех энергетических точках, где детектор КМД-3 набирал данные в 2012 – 2013 годах, совпали с точностью лучше 0,3%. Это позволяет рассчитывать на высокую систематическую точность определения светимости.

Продолжалась обработка экспериментальных данных, набранных с детектором КМД-3 в 2011 – 2012 годах. Анализ процесса  $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$  в диапазоне энергий 1,5 – 2,0 ГэВ в системе центра масс был закончен и опубликован. Начато изучение процесса рождения шести пионов в канале с четырьмя заряженными и двумя нейтральными пионами -  $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$ . На рис. 1.1.4. показан предварительный результат по измерению сечения этого процесса.

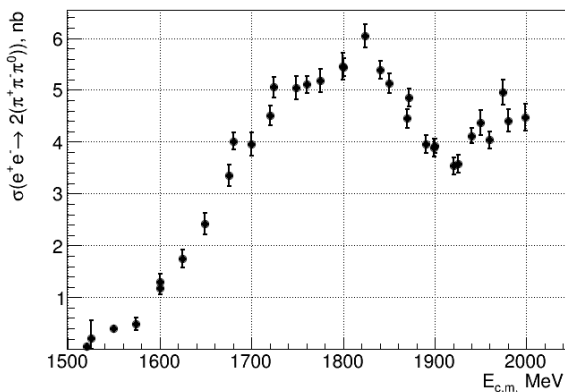


Рис. 1.1.4. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$ .

При анализе процесса электрон-позитронной аннигиляции в пару протон-антипротон вблизи порога рождения в 2013 году удалось измерить сечение этого процесса при энергии пучка меньше 952 МэВ. При таких энергиях протоны и антипротоны не выходят из вакуумной камеры детектора и регистрация событий процесса происходит по вторичным частицам, возникшим в результате аннигиляции.

На рис. 1.1.5. показано сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$  от порога рождения до максимальной энергии ВЭПП-2000, измеренное на детекторе КМД-3. Для сравнения на рисунке также приведены результаты других экспериментов по изучению этого процесса. Результаты эксперимента КМД-3 согласуются с этими измерениями.

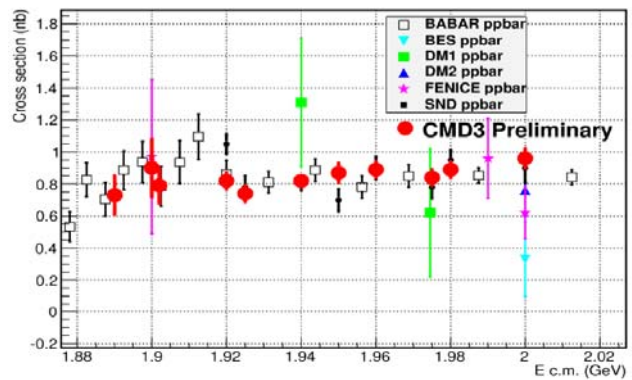


Рис. 1.1.5. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ , измеренное на детекторе КМД-3 в сравнении с результатами других экспериментов.

Всего в коллаборации КМД-3 ведется анализ 15 различных физических процессов, по 8 из которых получены предварительные результаты, доложенные на российских и международных конференциях.

В 2013 году продолжались работы по улучшению параметров различных систем детектора.

В системе сбора данных началась замена последнего типа блоков стандарта «КЛЮКВА». Вместо плат А32 для чтения информации с катодных каналов Z-камеры детектора были применены разработанные в ИЯФ платы АWF-32. Пространственное разрешение Z-камеры, достигнутое с новой электроникой, получилось не хуже, чем было при использовании электроники стандарта «КЛЮКВА». Во время остановки детектора на модернизацию во второй половине 2013 – начале 2014 года новая электроника АWF-32 будет установлена для чтения информации с калориметра на жидком ксеноне. После этого вся электроника детектора КМД-3 будет выполнена в новом стандарте, что позволит уменьшить мертвое время системы сбора данных до 70 мкс вместо 245 мкс сейчас.

В 2013 году был модифицирован заряженный триггер КМД-3. Если ранее для положительного решения триггера требовалось совпадение внешних слоев дрейфовой камеры и близлежащих анодных секторов Z-камеры, то теперь информация Z-камеры исключена из триггера. Для запуска систем детектора на регистрацию события требуется совпадение внутренних и внешних слоев дрейфовой камеры. Это позволило повысить эффективность триггера при регистрации заряженных частиц. Новая конфигурация триггера обеспечила близкую к 100% эффективность регистрации медленных заряженных каонов.

Была проведена большая работа по развитию алгоритмов реконструкции данных в цилиндрическом электромагнитном калориметре. Улучшена так называемая «сшивка» кластеров в жидкоксероновом калориметре с кластерами в калориметре на основе кристаллов CsI для создания единого кластера. Были разработаны поправки к энергиям и углам фотонов в калориметре, которые позволили добиться неплохого



согласия между моделированием и экспериментом при реконструкции нейтрального пиона. Выполнена совместная калибровка калориметров на жидком ксеноне и на основе кристаллов CsI по событиям с космическими частицами и по событиям  $e^+e^-$  рассеяния.

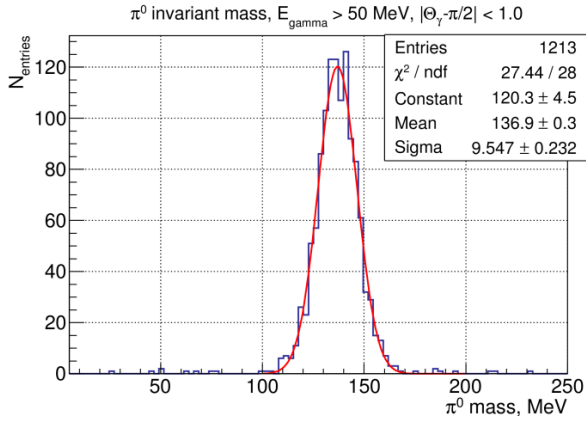


Рис.1.1.6. Инвариантная масса двух фотонов из распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ , зарегистрированных в цилиндрическом калориметре детектора КМД-3.

Как показано на рис. 1.1.6, разрешение по массе  $\pi^0$ -мезона, реконструированного по двум фотонам из распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ , получено равным  $\sigma_m/m = 7\%$ .

В результате выполненных в 2013 году калибровок и улучшения программ реконструкции энергетическое разрешение торцевого калориметра детектора КМД-3 для событий  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$  и  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$  оказалось близким к моделированию.

В рамках модернизации детектора в 2013 – 2014 годах будет заменена времяпролетная система. Новая система, которая создается совместно с Институтом теоретической и экспериментальной физики (Москва), будет выполнена на сцинтилляционных пластинах со сбором света с помощью спектро-смещающего волокна и SiPM фотоприемников. Опытный экземпляр одного модуля системы уже прошел испытания на стенде в ИЯФ СО РАН и на нем было получено временное разрешение 0,8 нс, близкое к проектному. К новому экспериментальному сезону эта система будет установлена в детектор.

Работы выполнялись при финансовой поддержке Минобрнауки России, Программ фундаментальных научных исследований государственных академий наук П.15.1.2, П.15.2.2, , грантов РФФИ 12-02-31501-а, РФФИ 12-02-31499-а, РФФИ 12-02-31498-а, РФФИ 12-02-01032-а, РФФИ 13-02-00215-а.

## 1.2. ДЕТЕКТОР СНД

### 1.2.1. Эксперименты на ВЭПП-2000

Сезон 2012 ÷ 2013 гг. набора данных с детектором СНД на ВЭПП-2000 начался в ноябре 2012 г. Целью эксперимента было сканирование энергетического диапазона «ниже  $\phi$  мезона». Энергия пучка  $E$  изменялась от 160 до 500 МэВ. В марте 2013 г. этот эксперимент был завершен. Накопленная интегральная светимость составила  $6 \text{ пб}^{-1}$ . Большим достижением ВЭПП-2000 стала высокая мгновенная светимость, в 4÷5 раз превышающая светимость ВЭПП-2М при тех же значениях энергии. Благодаря высокой светимости эксперимент был завершен досрочно, и было принято решение в оставшееся время провести два дополнительных эксперимента: сканирование узкой области вблизи  $\phi$ -мезонного резонанса с интегральной светимостью  $7 \text{ пб}^{-1}$  и дополнительный набор данных в области  $\rho$ - и  $\omega$ -резонансов с интегральной светимостью  $8 \text{ пб}^{-1}$ . Первый эксперимент был завершен в середине мая, второй эксперимент - в конце июня.

Во время этих экспериментов энергия коллайдера контролировалась методом обратного комптоновского рассеяния лазерного излучения на пучке электронов.

### 1.2.2. Состояние детектора

В ходе экспериментов 2012 ÷ 2013 гг. все системы детектора работали стабильно без существенных поломок.

Продолжились работы по изготовлению второго экземпляра трековой системы. В настоящее время проверены натяжения проволок, проведена распайка высоковольтного кросса. Изготовлен и вклеен в корпус трековой системы внутренний катод. Проводится распайка высоковольтных плат.

Эксперименты 2012÷2013 гг. были выполнены с полностью обновленной электроникой первого слоя калориметра. В 2013 г. были завершены производство и проверка новой электроники для 2-го и 3-го слоев калориметра. Продолжилась работа по созданию новых плат канала электроники калориметра: усилителя формирователя, АЦП и платы DeltaT, позволяющей измерять временной сдвиг (от 0 до 25 нс) между сигналом первичного триггера и шагом оцифровки АЦП. Новый канал был испытан в эксперименте. Для событий с энерговыделением в счетчике калориметра более 200 МэВ временное разрешение составило 1,3 нс. Амплитудное разрешение для генераторного сигнала, эквивалентного энерговыделению 100 МэВ, равно 350 кэВ.

В экспериментах 2010÷2013 гг. использовалось два варианта системы пороговых черенковских счетчиков с разными показателями преломления аэрогеля:  $n = 1,05$  при энергии  $E$  меньше 500 МэВ для  $e/\pi$ -разделения и  $n = 1,13$  при энергии  $E$  боль-

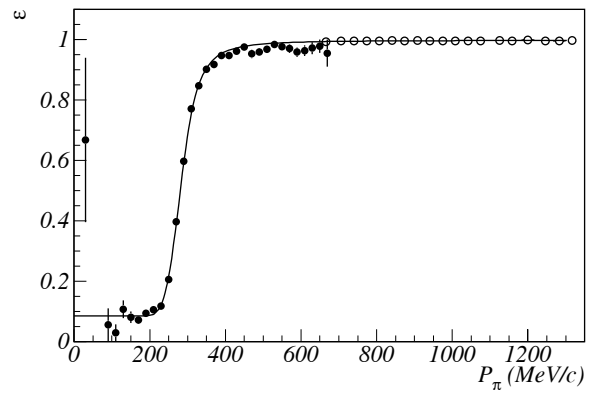


Рис. 1.2.1. Зависимость эффективности регистрации системы АЧС с  $n=1,13$  от импульса для пионов, определенная по событиям процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  (заполненные окружности), и для мюонов, определенная по событиям процесса  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$  (пустые окружности). Кривая - аппроксимирующая функция.

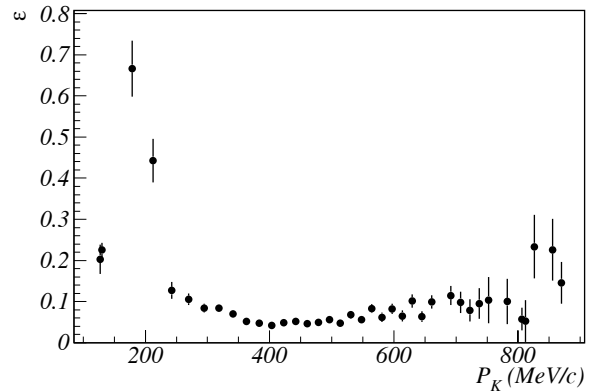


Рис. 1.2.2. Зависимость эффективности регистрации каонов системой АЧС с  $n=1,13$  от импульса каонов, полученная по событиям процесса  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$

ше 500 МэВ для  $K/\pi$ -разделения. По экспериментальным данным, полученным выше  $\phi$ -мезонного резонанса, для системы с  $n = 1,13$  измерены эффективности регистрации для заряженных  $\pi$  и  $K$  мезонов (рис. 1.2.1, 1.2.2.). Достигнутый уровень эффективности системы обеспечивает подавление пионов более, чем на два порядка в диапазоне импульсов от 350 до 870 МэВ. Средняя амплитуда сигнала для ультра релятивистских электронов составляет 6-8 фотоэлектронов. Соответствующая эффективность регистрации электронов равна 99,7%.

В 2013 г. черенковский счетчик работал с показателем преломления  $n = 1,05$ . Работоспособность системы проверялась на событиях процесса  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ , частицы которых попали в "хорошую" область счетчиков (исключались попадания частиц в шифтер и на края счетчиков). На рис. 1.2.3, 1.2.4

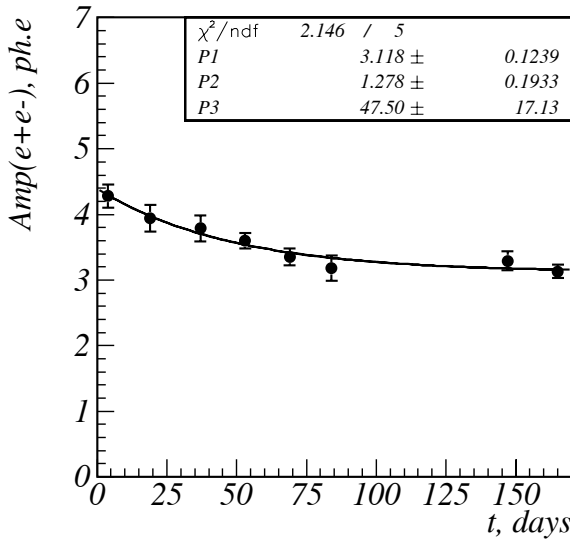


Рис. 1.2.3. Зависимость среднего сигнала от времени для всей системы АЧС с  $n=1,05$ .

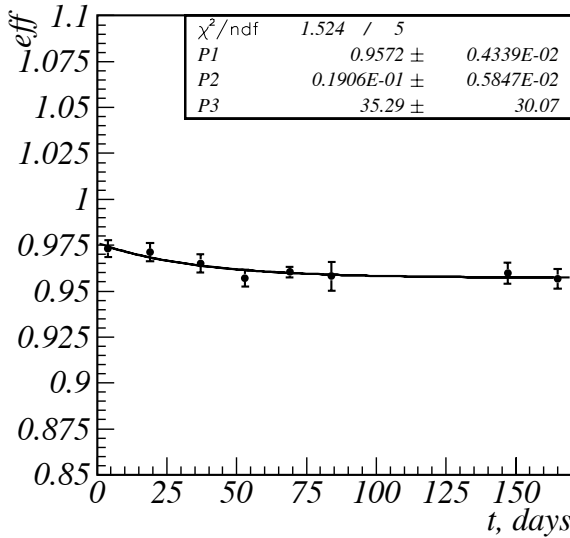


Рис. 1.2.4. Зависимость эффективности регистрации для ультра релятивистских электронов от времени для всей системы АЧС с  $n=1,05$ .

показаны зависимости от времени среднего числа фотоэлектронов в счетчике и эффективности регистрации системы для ультра релятивистских электронов.

### 1.2.3. Состояние программного обеспечения

Программное обеспечение системы сбора данных (ССД) развивалось в направлении поддержки новых компонент электроники и улучшения контролируемости и надежности набора статистики, в частности: были реализованы чтение и сохранение в событие информации с новых плат оцифровки сигналов калориметра (A24MM) и платы чтения

временного сдвига сигнала триггера (DeltaT), было проведено несколько тестовых заходов с прототипами плат; принята более регулярная схема запуска процессов ССД (сценарий ronline); реализован обмен данными с ВЭПП2000, используя сервис доступа к каналам (VCAS); организовано сохранение, отображение и передача в VCAS данных измерения энергии пучка по порогу энергии фотонов от лазерного излучения, рассеянных пучком; добавлен режим «приостановка захода до вмешательства оператора» (Pause); в процесс контроля по событиям добавлены калибровка места встречи с учетом наклона оси пучка и контроль измерения Z-координат; добавлена возможность «холодной» (полной, после включения) инициализации всех управляющих блоков ССД (cold\_init).

Из изменений в моделировании следует отметить следующие моменты: ядро моделирования переведено на Geant4 версии 9.5; доведено до рабочего состояния моделирование отклика электроники мюонной системы; разработаны и добавлены в моделирование СНД первичные генераторы процесса  $e^+e^- \rightarrow e\tau$  с распадом  $\tau \rightarrow \mu\nu$ ,  $e\nu\nu$  или  $\pi\nu$  и процесса рождения в  $e^+e^-$  аннигиляции до 8 частиц, равномерно распределенных по фазовому объему; добавлен первичный генератор процессов  $e^+e^- \rightarrow 4$  лептона (DIAG36); исправлена ошибка в моделировании отклика полосок пропорциональной камеры; в первичный генератор Kardapo добавлен процесс  $e^+e^- \rightarrow \eta\phi$ .

В течение 2012-2013 годов было сделано несколько важных изменений в системе обработки и реконструкции данных, в частности: разработаны и реализованы учет и коррекция геометрических искажений в детекторе, таких как сдвиг и поворот оси  $e^+e^-$  пучков, сдвиг и поворот полусфер калориметра относительно дрейфовой камеры; расширен за счет новых процессов пакет кинематической реконструкции vdkine; разработана инфраструктура для описания физической структуры события и автоматической генерации алгоритмов кинематической реконструкции; в рамках научного сотрудничества начата эксплуатация компьютерного кластера (суперкомпьютера) ССКЦ СОРАН для реконструкции, обработки и моделирования; также для этой цели мы продолжаем использовать вычислительный кластер НГУ; использование двух независимых площадок позволило увеличить общую надежность системы; к объекту кандидата в физическую частицу добавлена информация о срабатываниях мюонной системы (внешние сцинтилляционные счетчики и пропорциональные трубки) и системы идентификации (пороговые черенковские счетчики); добавлены объекты с информацией о нормированной ионизации ( $dE/dx$ ) в событие; успешно прошли сборка и первичное тестирование ПО СНД на архитектуре x86\_64 в режиме 32-бит совмести-

мости, ОС Linux SL6; разработана инфраструктура контроля калибровок амплитуд дрейфовой камеры; найденные неправильные калибровки исправлены; разработана процедура получения абсолютной калибровки  $z$  в дрейфовой камере и ее применения; существенно улучшена процедура удаления артефактных треков при реконструкции камеры; реализована и протестирована процедура учета нефизических срабатываний в детекторе (наложений).

#### 1.2.4. Анализ данных СНД

Анализ процесса  $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$  проведен по всем данным, накопленным в 2011-2012 гг. Изменена процедура вычитания космического фона, улучшены условия отбора событий  $n\bar{n}$  и подавление фона, в моделировании изменены сечения поглощения антинейтронов, при обработке моделирования учитываются наложения на события пучкового фона. Всего в анализе используется 18 точек в интервале энергии пучка 900–1000 МэВ, из них 11 точек — выше порога  $n\bar{n}$ . Интегральная светимость, накопленная выше порога, составляет  $\Delta L = 5,7 \text{ пб}^{-1}$ . Следует отметить, что для анализа отбирались только заходы со средней светимостью выше  $3 \cdot 10^{30} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ .

В результате применения условий отбора начальный массив из более чем  $10^9$  событий сократился до уровня  $\sim 5 \cdot 10^3$ . Эффективность регистрации  $\epsilon$  событий процесса  $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$  составила около 20%.

Сечение процесс в каждой точке по энергии определялось по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{N - xT}{\epsilon L(1 + \delta)}, \quad (1)$$

где  $N$  — число отобранных кандидатов  $n\bar{n}$ ,  $x$  — скорость счета космических событий,  $T$  — продолжительность экспериментальных заходов,  $\epsilon$  — эффективность регистрации,  $\delta$  — радиационная поправка,  $L$  — интегральная светимость. Измеренное сечение приведено на рис.5 отдельно для сканирований 2011 и 2012 годов. Для сравнения показаны данные первого и единственного предыдущего измерения сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$  в эксперименте FENICE. Среднее значение сечения составляет  $0,73 \pm 0,08$  нб. Однако в точках по энергии, ближайших к порогу, сечение близко к 1 нб. Показанная на рис 1.2.5 ошибка является статистической.

Измеренное распределение по  $\cos \theta$ , где  $\theta$  — полярный угол вылета антинейтрона, показано на рис.6. Используется переменный шаг по  $\cos \theta$ , но постоянный шаг  $9^\circ$  по  $\theta$ , чтобы исключить дифференциальную нелинейность из-за конечных размеров кристаллов калориметра. Экспериментальное распределение аппроксимируется суммой гистограмм, соответствующих членам в дифференциальном сечении, содержащим электрический  $G_E$  и магнитный  $G_M$  формфакторы и пропорциональным  $1 - \cos^2 \theta$  и  $1 + \cos^2 \theta$ . Эти гистограммы, норми-

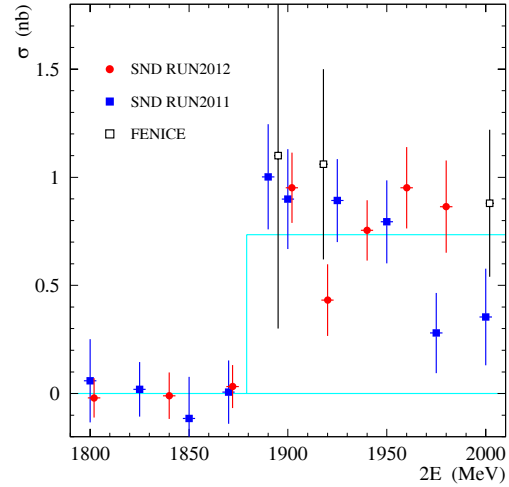


Рис. 1.2.5. Измеренное сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ . Разными символами показаны данные СНД 2011 и 2012 годов и данные детектора FENICE.

рованные на полученные при аппроксимации числа событий, и их сумма приведены на рис.6. Учитывая дополнительный фактор в сечении  $4m_n^2/4E^2$  перед членом, содержащим  $G_E$ , можно получить:

$$|G_E/G_M|^2 = 2,8 \pm 4,6 \quad (2)$$

Из этой формулы и рис. 1.2.6 видно некоторое преобладание вклада  $G_E$  над  $G_M$ . Это первое измерение величины  $|G_E/G_M|$  для нейтрона.

Основными источниками систематической неопределенности при измерении сечения являются ошибки в вычитании космического фона (0,1 нб), в эффективности регистрации (0,2 нб), в вычитании физического фона (0,1 нб), в светимости (0,03 нб). Полная систематическая ошибка составляет 0,25 нб или  $\sim 30\%$ .

Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  измерялось по данным сканирований 2011 и 2012 годов. Отбирались события с двумя заряженными треками и с двумя или тремя фотонами. Для отобранных событий проводилась кинематическая реконструкция в гипотезе  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$ . Далее анализировался спектр двухфотонных инвариантных масс, который аппроксимировался суммой функций, описывающих спектры эффекта и фона. Пример аппроксимации спектра инвариантных масс показан на рис. 1.2.7.

В процессе  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  доминирует механизм  $e^+e^- \rightarrow \eta\rho$ . Зависимость сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  от энергии в сравнении с результатами предыдущих экспериментов показана на рис. 1.2.8. Видно, что результаты измерений СНД и BABAR согласуются.

Анализ процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$  находится на

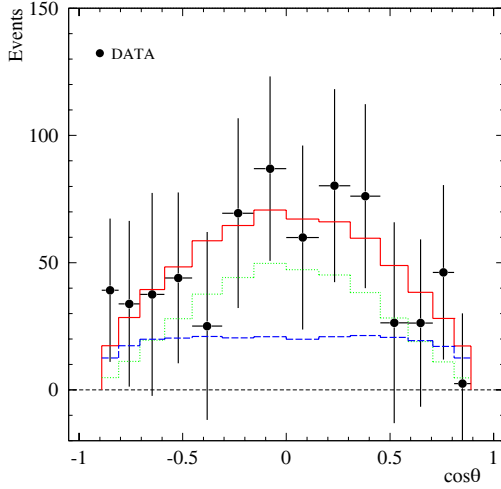


Рис. 1.2.6. Распределение экспериментальных событий процесса  $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$  по  $\cos\theta$ . Точки с ошибками — экспериментальные данные. Сплошная гистограмма — результат аппроксимации. Точечная гистограмма показывает вклад в распределение, пропорциональный  $G_E$ , а пунктирная — пропорциональный  $G_M$ . верхняя гистограмма - суммарный результат.

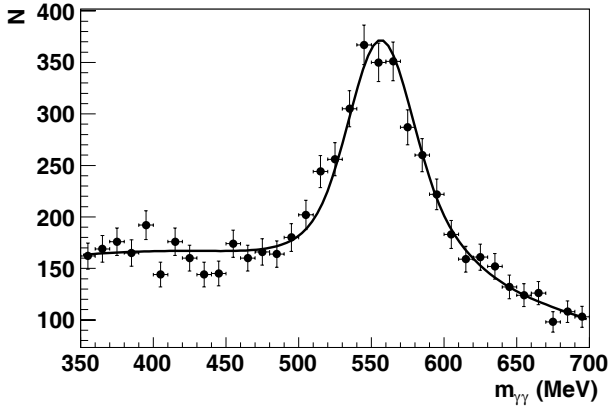


Рис. 1.2.7. Спектр двухфотонных инвариантных масс для экспериментальных событий в диапазоне  $2E = 1450-1550$  МэВ. Кривая показывает результат аппроксимации спектра суммой эффекта и фона.

начальной стадии. Для измерения процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$  предполагается отбирать события с двумя треками заряженных частиц и двумя и более фотонами. Условия отбора близки к условиям для процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ , описанным выше. Однако, взаимодействие каонов с веществом калориметра характеризуется возникновением большого количества кластеров, которые реконструируются как ложные фотоны. Для того, чтобы отбирать события без потерь, верхняя граница на число фотонов должна быть меньше 10. Выбор пары фотонов

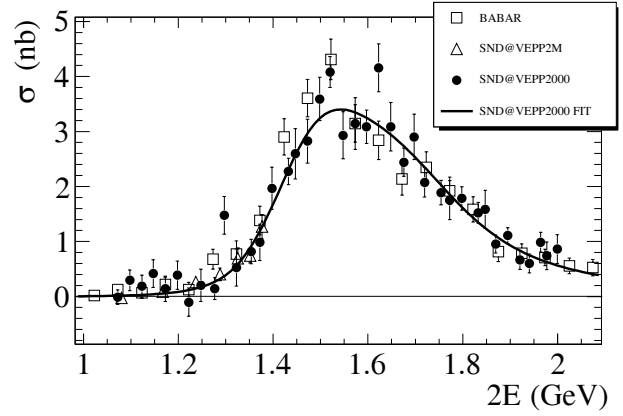


Рис. 1.2.8. Борновское сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ , измеренное СНД на ВЭПП-2000, СНД на ВЭПП-2М и в эксперименте BABAR. Кривая — результат аппроксимации сечения в модели векторной доминантности суммой вкладов резонансов  $\rho$ ,  $\rho'$ , и  $\rho''$

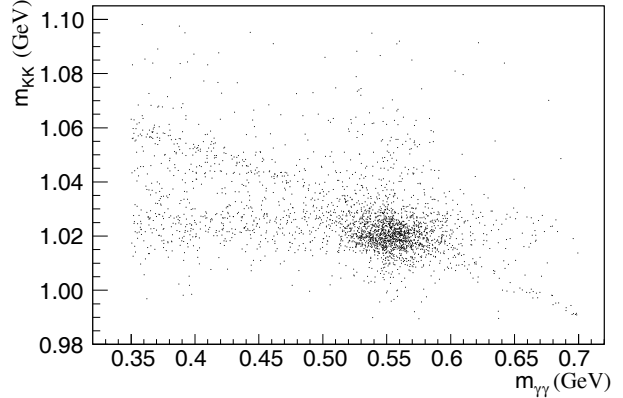


Рис. 1.2.9. Двумерное распределение по инвариантным массам систем  $\gamma\gamma$  и  $K^+K^-$  для моделированных событий  $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$ .

от распада  $\eta$ -мезона предполагается осуществлять с помощью кинематической реконструкции в гипотезе  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\gamma\gamma$ .

Для моделирования процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$  был разработан генератор первичных событий на основе механизма  $e^+e^- \rightarrow \eta\phi \rightarrow \eta K^+K^-$ , который согласно данным, полученным ранее в другом эксперименте, является доминирующим. На рис. 1.2.9 показано двумерное распределение по инвариантным массам систем  $\gamma\gamma$  и  $K^+K^-$  для моделированных событий  $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$  с энергией  $2E = 1,7$  ГэВ.

Процесс  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  изучался на основе данных, записанных в 2011 году в области энергии  $\sqrt{s} = 1,05 \div 2,00$  ГэВ. Данные, соответствующие интегральной светимости около  $20\text{пб}^{-1}$ , были набраны в 40 энергетических точках. Для выделения изучаемых событий требовалось выполнение следу-

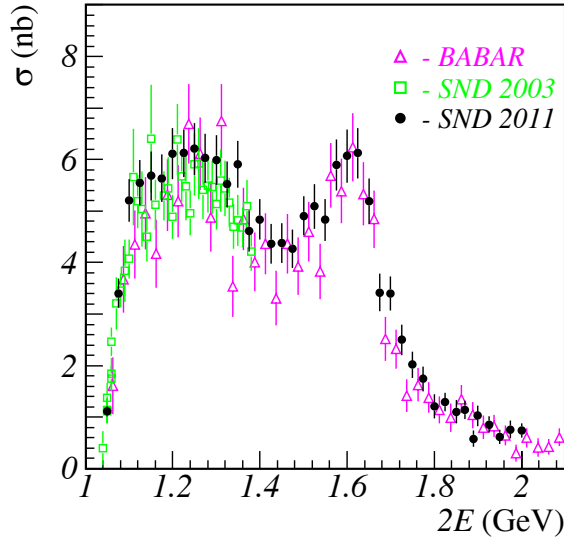


Рис. 1.2.10. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ , измеренное на ВЭПП-2000, в сравнении с результатами экспериментов СНД на ВЭПП-2М и BABAR.

ющих условий: наличие двух центральных треков с полярным углом  $\theta$  в пределах от  $30^\circ$  до  $150^\circ$  и двух фотонов с энергией больше 30 МэВ. Для отобранных событий проводилась кинематическая реконструкция в предположении, что событие происходит от процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-2\gamma$ . На параметры, полученные в результате реконструкции, накладывались ограничения:  $\chi^2$  гипотезы общей точки вылета треков меньше 60,  $\chi^2$  сохранения энергии и импульса меньше 40. Основным источником фоновых событий в изучаемом энергетическом диапазоне является процесс  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ . Разделение эффекта и фона осуществлялось при аппроксимации спектра инвариантной массы двух фотонов суммой распределений, полученных в результате моделирования изучаемого и фонового процессов.

Для изучения систематической неопределенности в эффективности регистрации событий, полученной по моделированию, было проведено изучение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  в области энергии  $\phi$ -мезонного резонанса. В этой области искомые события можно выделить с минимальной примесью фона с использованием существенно более мягких условий отбора. Были исследованы распределения по  $\chi^2$  кинематической реконструкции и определены соответствующие поправки к эффективности. Была также определена поправка, связанная со строгим ограничением на число фотонов.

Измеренное сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  приведено на рис.1.2.10 вместе с данными предыдущих экспериментов СНД на ВЭПП-2М и BABAR. Результаты всех трех экспериментов согласуются.

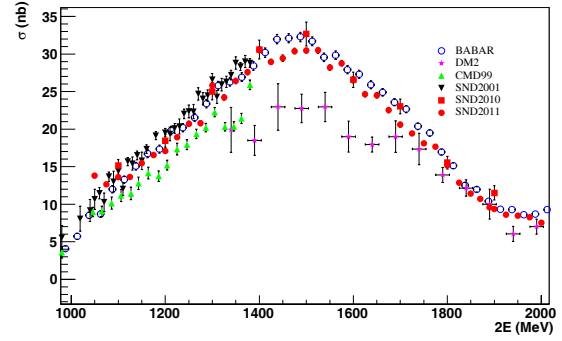


Рис. 1.2.11. Измеренное сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  в сравнении с данными предыдущих экспериментов.

Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  в диапазоне энергии 1÷2 ГэВ определяется рождением в  $e^+e^-$  аннигиляции векторных мезонов  $\rho$ ,  $\rho'$ ,  $\rho''$  с последующим их распадом в состояние  $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ . Основными промежуточными механизмами распада являются  $\omega\pi^0$  и  $a_1\pi$ ,  $\rho^+\rho^-$ ,  $f_0\rho^0$ . В данной области энергии сечение  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  доминирует в полном сечении аннигиляции в адроны и вносит значительный вклад в поляризацию вакуума адронами.

Предварительно отбирались события с двумя и более заряженными частицами и четырьмя и более фотонами. Наличие лишних частиц допускалось, чтобы избежать потери событий из-за наложений фотонов и треков от пучкового фона или возникновения ложных фотонов при ядерном взаимодействии пионов с веществом детектора.

Далее проводилась кинематическая реконструкция событий в предположении конечного состояния  $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  с требованием выполнения законов сохранения энергии и импульса. Никаких дополнительных предположений о промежуточном состоянии не вводилось. В событиях с тремя и более заряженными частицами или пятью и более фотонами при кинематической реконструкции проводился перебор всех возможных комбинаций и выбиралась комбинация, обеспечивающая минимальное значение параметра  $\chi^2$  кинематической реконструкции.

Отбирались события, для которых  $\chi^2$  кинематической реконструкции менее 100 и массы реконструированных  $\pi^0$ -мезонов лежат в диапазоне 80–200 МэВ.

Эффективность регистрации процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  определялась по моделированию. Радиационная поправка вычислялась методом Монте-Карло и плавно менялась с энергией от 0,88 при 1 ГэВ до 1,14 при 2 ГэВ. Измеренное сечение изображено на рис. 1.2.11.

Для разделения промежуточных механизмов реакции использовалось распределение по инвариант-

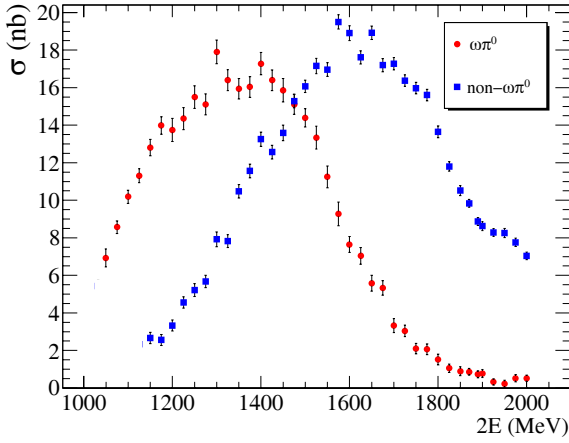


Рис. 1.2.12. Измеренные сечения реакций  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  и  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  с вычтенным вкладом промежуточного состояния  $\omega\pi^0$

ной массе  $\pi^+\pi^-\pi^0$ , при этом выбиралась комбинация, наиболее близкая по массе к  $\omega$ -мезону. В области энергии ниже 1,4 ГэВ распределение по данному параметру хорошо описывается моделированием. данному параметру для каждого из четырех механизмов реакции извлекалось из моделирования. Для выделения промежуточного механизма  $\omega\pi^0$  производилась аппроксимация экспериментального распределения по инвариантной массе  $\pi^+\pi^-\pi^0$  суммой четырех распределений с фиксированной формой, взятой из моделирования. Всего было четыре свободных параметра. Сечения процессов  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0$  и  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  с вычтенным вкладом промежуточного состояния  $\omega\pi^0$  изображены на рис. 1.2.12, 1.2.13, 1.2.14.

По данным с интегральной светимостью около  $25 \text{ пб}^{-1}$ , записанным в интервале энергий 1050-2000 МэВ в 2011 году, было проведено предварительное изучение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ . Отбирались события с 4-мя и более заряженными частицами и менее чем с двумя фотонами. Для четырех треков проверялась гипотеза, что они вылетают из места встречи пучков. Вычислялись  $\chi^2$  этой гипотезы в плоскости  $R - \phi$  ( $\chi_r^2$ ) и в плоскости  $R - Z$  ( $\chi_z^2$ ), на которые накладывались условия:  $\chi_r^2 \leq 8$  и  $\chi_z^2 \leq 20$ . Для подавления пучкового фона отбрасывались события с  $z$ -координатой вершины  $|Z_{vert}| > 10$  см. Так же накладывались условия на полное энерговыделение в калориметре ( $< 1,75E$ ) и на энергию каждой частицы ( $< 0,75E$ ). Перечисленные выше условия отбора проходят также события фоновых процессов  $e^+e^- \rightarrow 6\pi$ ,  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$  и  $e^+e^- \rightarrow K_s K^+\pi^- \rightarrow K^+\pi^+\pi^-\pi^-$ . Ожидаемое число фоновых событий рассчитывалось по моделированию с использованием экспериментальных

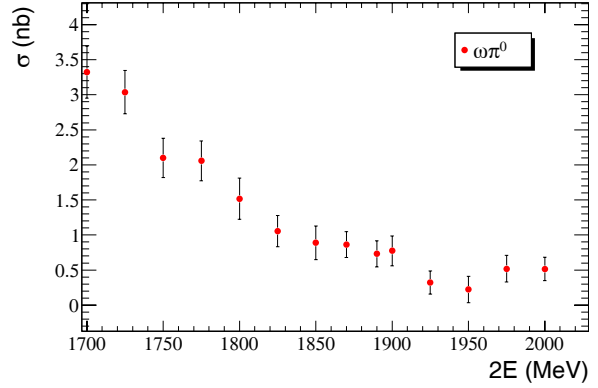


Рис. 1.2.13. Измеренное сечение реакций  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ .

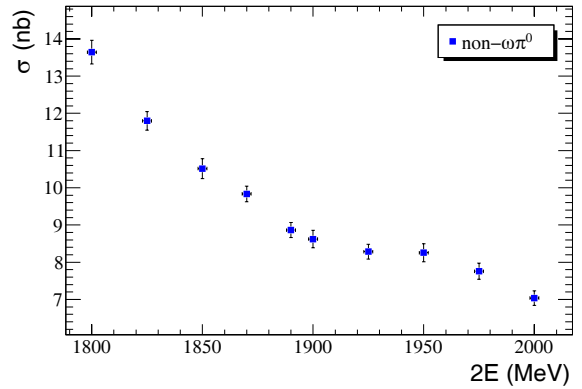


Рис. 1.2.14. Измеренное сечение реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  с вычтенным вкладом промежуточного состояния  $\omega\pi^0$

данных по сечениям этих процессов и вычиталось. Предварительный результат по сечению процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$  в сравнении с данными эксперимента BABAR приведен на рис. 1.2.15.

Завершается анализ процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$  по данным с интегральной светимостью  $\sim 32 \text{ пб}^{-1}$ , накопленным в интервале энергии  $1,07 \div 2,00$  ГэВ в 2010-2012 гг. Процесс  $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$  изучается в семи-фотонном конечном состоянии, т.е. в моде распада  $\eta$  мезона  $\eta \rightarrow 3\pi^0$ . Для анализа отбирались события, в которых зарегистрировано семь или более фотонов и нет заряженных частиц. Накладывались следующие условия на полное энерговыделение в калориметре  $E_{tot}$  и суммарный импульс фотонов  $P_{tot}$ :

$$0,7 < E_{tot}/2E < 1,2,$$

$$P_{tot}/2E < 0,3/c,$$

$$E_{tot}/2E - cP_{tot}/2E > 0,7.$$

Для отобранных событий проводилась кинематическая реконструкция, использующая измеренные

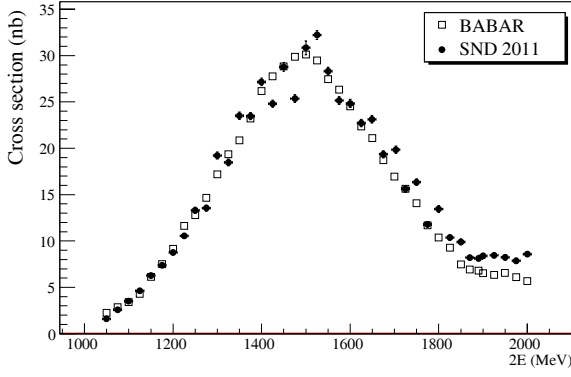


Рис. 1.2.15. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ , полученное в данной работе, в сравнении с результатами эксперимента BABAR.

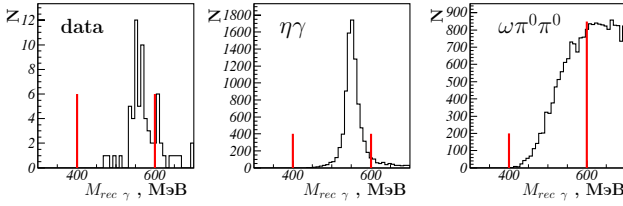


Рис. 1.2.16. Распределение по массе отдачи наиболее энергичного фотона в событии для отобранных экспериментальных событий (data), и событий моделирования процессов  $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$  ( $\eta\gamma$ ) и  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0\pi^0$  ( $\omega\pi^0\pi^0$ ).

углы, энергии фотонов и законы сохранения энергии и импульса. В результате реконструкции уточнялись энергии фотонов и определялись величина  $\chi^2$ , характеризующее достоверность гипотезы о процессе, для которой проводилась кинематическая реконструкция. Проверялись три гипотезы и вычислялось три параметра:

- $e^+e^- \rightarrow n\gamma$  ( $n \geq 7$ ),  $\chi_{n\gamma}^2$ ;
- $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ ,  $\chi_{\pi^0\pi^0\gamma}^2$ ;
- $e^+e^- \rightarrow 3\pi^0\gamma$ ,  $\chi_{3\pi^0\gamma}^2$ .

Дальнейший отбор проводился со следующими ограничениями:

$$\chi_{n\gamma}^2 < 30, \quad \chi_{\pi^0\pi^0\gamma}^2 > 20, \quad \chi_{3\pi^0\gamma}^2 < 50.$$

Для отобранных событий строились распределения по массе отдачи  $M_{rec}$  наиболее энергичного фотона (рис. 1.2.16). Окончательный отбор событий осуществлялся по условию  $400 < M_{rec} < 600$  МэВ.

Измеренное сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$  приведено на рис.1.2.17. Сечение аппроксимировалось в модели векторной доминантности с учетом вкладов векторных резонансов  $\rho$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\rho'$  и  $\rho''$ . Сво-

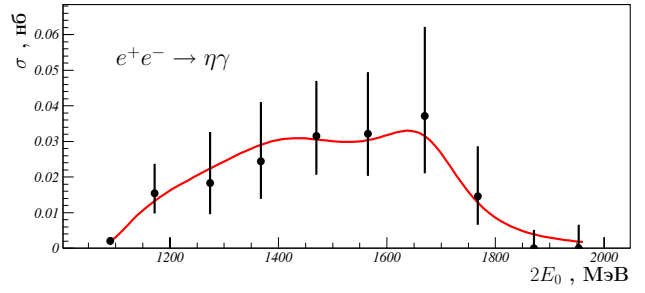


Рис. 1.2.17. Измеренное в данной работе сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$  и результат аппроксимации сечения моделью, описанной в тексте.

бодными параметрами аппроксимации были массы и ширины  $\rho'$ ,  $\rho''$  резонансов и сечения процессов  $e^+e^- \rightarrow \rho' \rightarrow \eta\gamma$  ( $\sigma_{\rho'}$ ) и  $e^+e^- \rightarrow \rho'' \rightarrow \eta\gamma$  ( $\sigma_{\rho''}$ ) в максимумах резонансов. К сожалению, из-за небольшой статистики фазы амплитуд резонансов  $\rho'$  и  $\rho''$  не определяются при аппроксимации. Для них были использованы значения  $0^\circ$  или  $180^\circ$ . Параметры  $\rho$ ,  $\omega$  и  $\phi$  резонансов были взяты из наших предыдущих работ.

Аппроксимация, дающая наименьший  $\chi^2/ndf$ , была получена при значениях  $\varphi_{\rho'} = 180^\circ$  и  $\varphi_{\rho''} = 0^\circ$ . Для сечений в максимуме были получены значения:

$$\sigma_{\rho'} = (55, 7_{-9,7}^{+11,2} {}_{-1,8}^{+7,1} \pm 1, 6) \text{ pb},$$

$$\sigma_{\rho''} = (47, 4_{-21,6}^{+72,1} {}_{-18,1}^{+4,8} \pm 1, 3) \text{ pb},$$

где первая ошибка — статистическая, вторая — модельная, третья — систематическая. График сечения, соответствующий этим параметрам, приведен на рис.17.

Работы выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России, грантов РФФИ 11-02-00276-а, 12-02-00065-а, 12-02-01250-а, 13-02-00375, 13-02-00418-а, МК-4345.2012.2, 12-02-31488 мол\_а, 12-02-31692 мол\_а, 12-02-31515 мол\_а, научной школы НШ-5320.2012.2.



### 1.3. ДЕТЕКТОР КЕДР

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

В течение 2013 года был закончен ремонт и модернизация систем детектора, произведена сборка детектора в полном объеме на экспериментальном промежутке комплекса ВЭПП-4М. Большинство систем после установки в детектор были проверены и прокалиброваны в заходах с космическими частицами. Восстановлена работоспособность ускорительного комплекса: комплекс готов к работе на светимость в области энергий  $\Psi$ -мезонов. В феврале 2014г. планируется поднять магнитное поле в детекторе до 6кГс и начать экспериментальный заход.

Статус систем детектора КЕДР:

– Вершинный детектор. В 2011г. было отключено 34 канала из 310, в предусилителях наблюдались большие перекрестные наводки. Это приводило к тому, что при попытке поднять усиление, возникали «ложные» треки, и ухудшалось разрешение детектора.

За время остановки: были отремонтированы все трубки, устранены все течи; в предусилители установлены дополнительные экраны, для уменьшения перекрестных наводок; изменена схема подключения каналов электроники с радиальной на тангенциальную, что должно ещё уменьшить вероятность возникновения ложных треков; переделана система газовых разветвителей на детекторе, теперь возможно отключение как групп трубок, так и индивидуальных трубок в процессе эксплуатации. В данный момент система установлена в детектор, в 12 трубках обнаружены течи.

– Дрейфовая камера отремонтирована и установлена в детектор, проведены испытания с космическими частицами. Перед остановкой (2011 год) в рабочем состоянии было 2 целых и 2/3 слоя из семи. В настоящее время в рабочем состоянии 6 целых и 1/2 слоя. Ведется обработка данных для получения параметра  $X(t)$ .

– Аэрогелевые черенковские счетчики (АЧС). До остановки в детекторе стоял один слой системы (80 счетчиков), 17 из них не работали, эффективность системы в барели - 80%, в торцах - 96%. В данный момент система установлена в

детектор в полном объеме (160 счетчиков в два слоя). Запущена система высоковольтного питания и контроля шумов, доработаны программы сбора данных и реконструкции. Проведена калибровка электроники и набрана статистика с космическими частицами для геометрической выставки системы и для оценки эффективности.

– Время-пролётные счетчики отремонтированы (склейка сломанных световодов, обрачивание в алюминизированный лавсан) и установлены в детектор. В баррельные магнитные экраны установлены дополнительные экраны-вставки, которые должны уменьшить эффект падения амплитуды при вводе магнитного поля. Починена 6 каналов электроники в баррельной части системы и 1 в торцевой. На данный момент (до ввода поля) все счетчики работают.

– Жидко-криптоновый калориметр. Смонтирована и испытана система очистки газообразного криптона. Очищен весь объем криптона от электроотрицательных примесей до уровня лучше 0.5ppm, что соответствует длине свободного пробега в жидком криптоне (LKr) больше 10мм. Проведена профилактика и ремонт всех каналов камерной электроники. Измерена калибровочная емкость всех предусилителей.

– CsI-калориметр был установлен в детектор в новой конструкции из 4-х модулей, что позволяет знать положение каждого кристалла с точностью лучше 1мм. Были починены 300 не работающих каналов и 100 с пониженной эффективностью. На данный момент (до ввода магнитного поля) не работает 10 каналов.

– Мюонные камеры. За время остановки все блоки мюонной системы прошли ремонт, заключившийся в замене всех плат формователей и починке неисправных плат экспандеров. Было заменено 10 проволочек.

Система содержит 544 канала. На момент начала остановки в системе было 46 (9%) полностью неисправных и 38 (7%) частично неисправных каналов.

Состояние системы: полностью неисправных каналов 10 (1,8%); частично неисправных (нет продольной координаты) каналов 8 (1,5%). В остальной системе эффективность > 98%.

– Магнитная система. В магнитной системе детектора переделаны криопроводы: на всей длине сделан небольшой наклон для предотвращения скопления газообразного гелия, запитка первичной обмотки СП трансформатора

будет производиться по теплым шинам, идущим вне криопровода, через разъем в корпусе криостата. В систему управления добавлен быстрый контроль (с дискретностью в несколько микросекунд) за токами (напряжениями) на первичной катушке СП трансформатора, на СП ключах и еще нескольких ключевых точках. Изготовлены и проверены на стенде и установлены в систему запитки солиноида детектора КЕДР новые СП-ключи.

- Система регистрации рассеянных электронов. Создана и запущена на электронном и позитронном направлении система калибровки системы регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) на основе прецизионных электромагнитных калориметров на основе монокристаллов ВГО и двух лазеров с длиной волны 532 нм и 1064 нм. Изготовлен два калориметра для электронного и позитронного плеча и система зеркал для направления лазерного излучением на электронный или позитронный пучок.

Система позволяет проводить калибровку зависимости координаты трека от энергии рассеянного электрона (позитрона) и измерять энергетическое разрешение. Запущена в работу автоматизированная процедура калибровки СРРЭ на электронном и позитронном плече, что позволит делать калибровки в течении нескольких минут между набором экспериментальных данных.

### 1.3.1. 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 Института катализа СО РАН с 2004 года. Методика ФАРИЧ востребована в нескольких планирующихся экспериментах по физике высоких энергий: Супер-*c-τ*-фабрика (ИЯФ СО РАН), PANDA (FAIR, Германия), ALICE (ЦЕРН), Belle II (КЕК, Япония).

В 2008–2010 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. Для создания электронного пучка используется тормозное излучение на подвижном пробнике, вводимом в гало пучка ускорителя. Конверсия тормозных гамма-квантов происходит перед дипольным магнитом в экспериментальном зале. Магнит используется для отбора электронов по импульсу. Получен-

ный диапазон по энергии электронов составляет 60–3000 МэВ. Для формирования пучка гамма-квантов будет использоваться импульсный лазер. Пучок лазерного излучения вводится внутрь вакуумной камеры коллайдера ВЭПП-4, где он взаимодействует с пучком электронов в месте встречи внутри универсального магнитного детектора КЕДР. Лазерные фотоны взаимодействуют с электронами посредством комптоновского рассеяния. В результате чего в узком конусе направленном вдоль пучка электронов, формируется пучок гамма-квантов. Измерение энергии гамма-кванта производится с помощью уникальной системы регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) с точностью около 0.5%. Более подробно установка описана в отчете института за 2011 год.

Первый прототип ФАРИЧ был испытан на выведенном пучке электронов в 2011 году. Были получены результаты, хорошо согласующиеся с моделированием, которые были доложены на нескольких рабочих совещаниях, семинарах и конференциях. Более подробно результаты работы описаны в отчете института за 2011 год.

В 2013 году в рамках развития методики ФАРИЧ были проведены следующие работы:

- Создана автоматизированная установка для синтеза аэрогелей с непрерывным градиентом показателя преломления с возможностью управления соотношением исходных реактивов при их смешивании.
- Изготовлены 3 образца фокусирующего аэрогеля с непрерывным показателем преломления. Произведено около 10 образцов многослойных аэрогелей.
- Проведены испытания на пучке прототипа ФАРИЧ №2 с фотодетектором, состоящим из 60-ти кремниевых фотоумножителей типа СРТА 151-30 (Рис.1.3.1). Координатное разрешение фотодетектора почти в два раза лучше, чем у прототипа №1. На пучке с прототипом было исследовано 9 образцов фокусирующих аэрогелей. Данные обрабатываются.
- Завершена обработка данных испытания на адронном пучке в ЦЕРН прототипа ФАРИЧ с фотодетектором DPC (см. годовой отчет за 2012 г.). Получено рекордно высокое разделение  $\pi$ - и  $K$ -мезонов, достигающее 3,5 сигм при импульсе 4 ГэВ/с, что почти в два раза превышает коэффициент разделения, достигнутый с прототипом детектора FDIRC для проекта SuperB-фабрики.  $\mu/\pi$ -разделение составило 5,3 сигмы при импульсе 1 ГэВ/с, что является достаточным для экспериментов на планирующейся Супер-*c-τ*-фабрике. Результаты доложены на международной конференции

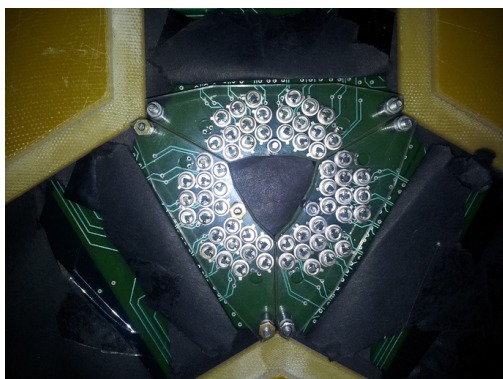


Рис. 1.3.1. Фотография 60-канального фотодетектора на основе КФЭУ СРТА 151-30.

VCI 2013, международном форуме AFAD 2013 и опубликованы в рецензируемом журнале. На Рис.1.3.2. показан полученный коэффициент разделения  $\pi$ - и  $K$ -мезонов в зависимости от импульса частиц.

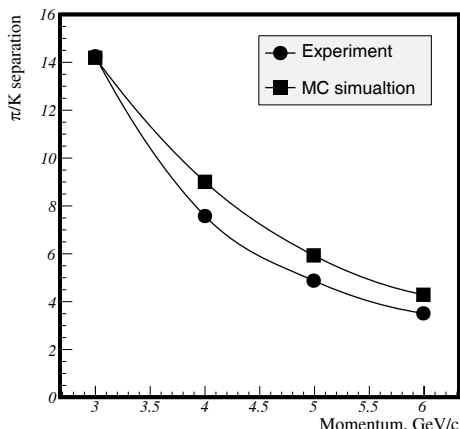


Рис. 1.3.2.  $\pi/K$ -разделение в зависимости от импульса для прототипа ФАРИЧ с DPC, полученное на адронном пучке в ЦЕРН. Кружки — эксперимент, квадраты — моделирование.

- Модернизирован прототип ФАРИЧ с фотодетектором DPC. В отчетном году прототип был испытан на выведенном пучке электронов на ускорителе ВЭПП-4М в режиме высокого координатного разрешения (пиксель маскирован до размера  $1 \times 1$  мм<sup>2</sup>). На Рис.1.3.3. изображен прототип, установленный на выведенный пучок. С прототипом измерено 14 образцов аэрогелей. Предварительные результаты были представлены на международной сессии-конференции секции ядерной физики ОФН

РАН, а также на международной конференции RICH 2013.



Рис. 1.3.3. Фотография прототипа ФАРИЧ с DPC, установленного на выведенный электронный пучок.

- Получен грант на 2014-2017 гг. от госкорпорации «Росатом» и объединения им. Гельмгольца (Германия) на разработку технического проекта аэрогелевого RICH-детектора для эксперимента PANDA. Начаты работы по проекту.

#### 1.4. Результаты работы детектора КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М в 2013 году

В течение 2013 года активно велась обработка статистики, набранной на коллайдере ВЭПП-4М в эксперименте КЕДР. Основные результаты приведены ниже:

- Завершена обработка эксперимента по проверке лептонной универсальности в распадах  $J/\psi$ -мезона.
- Проведено исследование процесса  $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$ , полученные результаты направлены в печать.
- Проведено прямое измерение величины  $\Gamma_{ee}\Gamma_{\mu\mu}/\Gamma_{\psi(2S)}$  мезона.
- Проведено предварительное измерение величины  $\Gamma_{ee}\Gamma_{hadr}/\Gamma_{J/\psi}$  мезона

Более подробное описание перечисленных работ дано ниже.

##### 1.4.1. Проверка лептонной универсальности в распадах $J/\psi$ - 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 2013 году закончен эксперимент по проверке лептонной универсальности в распадах  $J/\psi$ - мезона. Измерено отношение парциальных ширин распадов  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$  и  $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ , был получен следующий результат:

$$\Gamma_{e^+e^-}(J/\psi)/\Gamma_{\mu^+\mu^-}(J/\psi) = 1,0022 \pm 0,0044 \pm 0,0048$$

Точность результата составила 0,65%. На рис.1.4.1 приведено сравнение отношения лептонных ширин  $J/\psi$  резонанса, полученных в разных экспериментах. Статья направлена в журнал Physics Letter B.

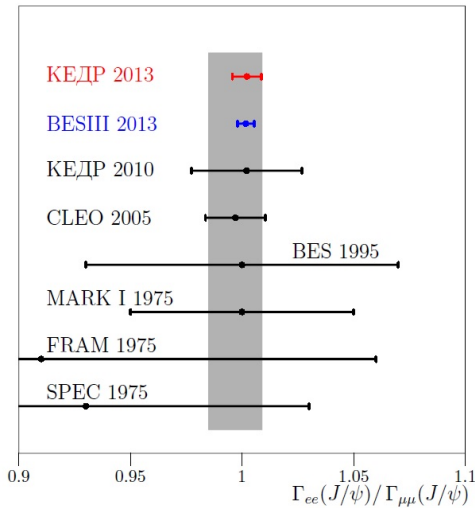


Рис. 1.4.1. Сравнение  $\Gamma_{ee}/\Gamma_{\mu\mu}$ , полученных в разных экспериментах. Положение полосы и её ширина соответствуют среднемировому значению и неопределённости  $\Gamma_{ee}/\Gamma_{\mu\mu}$  по данным PDG.

### 1.4.2. Измерение вероятности распада $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$ и параметров $\eta_c$ мезона

В результате анализа данных получены следующие значения для массы и ширины  $\eta_c$  мезона:

$$M_{\eta_c} = 2983,5 \pm 1,4_{-3,6}^{+1,5} MeV/c^2,$$

$$\Gamma_{\eta_c} = 27,2 \pm 3,1_{-2,8}^{+5,1} MeV.$$

В пределах ошибок измерения эти величины согласуются со среднемировыми значениями. Ранее эти параметры измерялись другими группами в распадах  $J/\psi$ -мезонов,  $B$ - мезонов,  $\gamma\gamma$  и  $pp$  - столкновениях. В радиационных распадах  $J/\psi$ -мезонов, если подгонка резонанса делается функцией Брейта-Вигнера, вследствие асимметрии линии спектра возникает сдвиг измеряемой массы на величину примерно 4 МэВ в сторону меньших значений. Группа Crystal Ball учитывала эту асимметрию, тогда как группы MARK3 и BES нет. Поэтому

мы полагаем, что результаты измерений массы  $\eta_c$ - мезона этими группами должны быть скорректированы на эту величину, что приведёт к лучшему согласию с измерениями, выполненными в других экспериментах. Наш результат для относительной вероятности распада  $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$ :

$$B(J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c) = (3,59 \pm 0,22 \pm 0,25)\%.$$

Полученный результат (рис.1.4.2.) согласуется с последними теоретическими расчётами на решётках КХД. Статья направлена в журнал "Ядерная физика".

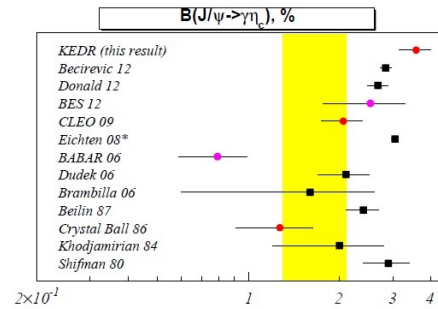


Рис. 1.4.2. Величина вероятности распада  $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$  по данным разных экспериментов и её среднее значение (показано вертикальной полосой).

### 1.4.3. Измерение $\Gamma_{ee}\Gamma_{\mu\mu}/\Gamma$ $\psi(2S)$ -мезона

Проведено прямое измерение произведения лептонной ширины на вероятность распада в пару мюонов  $\psi(2S)$  мезона и получен предварительный результат:

$$\Gamma_{ee}\Gamma_{\mu\mu}/\Gamma = 9,4 \pm 0,4 \pm 1,1 \text{ эВ}.$$

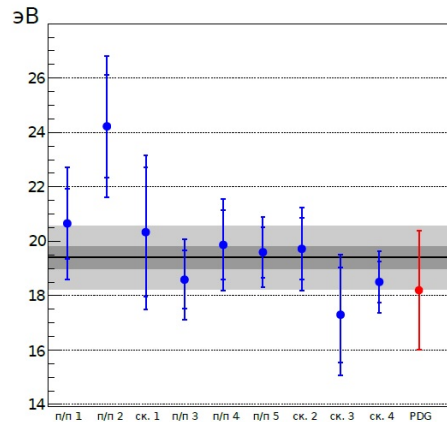


Рис. 1.4.3. Сравнение  $\Gamma_{ee}\Gamma_{\mu\mu}/\Gamma$ , полученных в эксперименте КЕДР и "среднемировое" значение. Суммарные результат КЕДРа показан горизонтальной линией, его ошибки - серыми полосами.

Точность полученного результата (рис.1.4.3) примерно в два раза лучше "среднемировой", полученной перемножением  $\Gamma_{e^+e^-}$  и  $B_{\mu\mu}$ .

#### 1.4.4. Измерение величины $\Gamma_{ee}\Gamma_{hadr}/\Gamma_{J/\psi}$ мезона

В 2013 году был выполнен получен предварительный результат по измерению произведения лептонной ширины  $J/\psi$  мезона на вероятность его распада в адроны:

$$\Gamma_{ee} \times Br(J/\psi \rightarrow hadrons) = 4,67 \pm 0,04 \pm 0,19 \text{ кэВ.}$$

Полученный предварительный результат имеет лучшую точность в сравнении с предыдущими прямыми экспериментами, хотя и несколько уступает "среднемировому", полученному перемножением  $\Gamma_{e^+e^-}$  и  $B_{hadrons}$  (рис.1.4.4.).

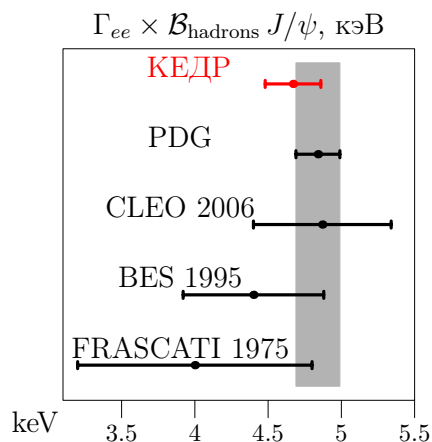


Рис. 1.4.4. Сравнение  $\Gamma_{ee}\Gamma_{hadrons}/\Gamma_{J/\psi}$ , полученных в различных экспериментах, и "среднемирового" значение

#### Заключение

Работы выполнены при частичной поддержке грантов РФФИ № 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, 13-02-00282-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. ЭЛЕКТРОНИКА ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ФВЭ

В 2013 году в рамках модернизации электроники детекторов были выполнены следующие работы:

### 1.5.1 КЕДР.

В течении года проводился ремонт детектора КЕДР. Завершён ремонт камерной электроники калориметров детектора – криптонового и CsI-калориметра, с частичной заменой усилителей.

### 1.5.2 СНД.

Завершена модернизация электроники для второго и третьего слоя одной полусферы калориметра.

Изготовлен прототип модуля A24F с обменом по ТСРIP, ведётся его отладка.

## 1.6. РЕНТГЕНОВСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ

В 2103 году в рамках работ по созданию многострочного координатного детектора, в котором в качестве регистрирующих элементов планируется использовать кремниевые микрополосковые структуры, был заключен договор с фирмой НАМАМАТСУ на изготовление девяти экземпляров координатных структур трёх модификаций для проведения тестов и выбора оптимальных параметров.

В 2013 году были изготовлены и отлажены два детектора ОД-3М. Один - с фокусным расстоянием 1500 мм, для работы для станции ЦКП Сибирского Центра Синхротронного и Терагерцового Излучения, второй – с фокусным расстоянием 700 мм, для оснащения дифрактометра.

Изготовлены два экземпляра 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.

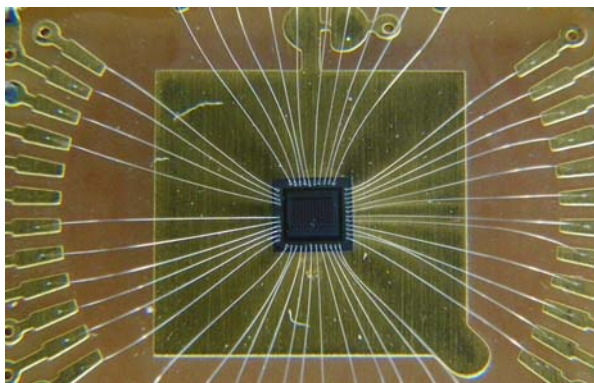


Рис. 1.6.1. Кристалл микросхемы на подложке для тестирования.

В рамках работ по освоению проектирования специализированных интегральных схем (ASIC) впервые в Институте была разработана топология и получены рабочие экземпляры (Рис. 1.6.1) микросхем для использования в рентгеновских координатных детекторах типа DIMEX.

## 1.7. СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ ДЕТЕКТОРА BELLE-II

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

В 2013 году:

- осуществлена модернизация фильтров высокого напряжения предварительных усилителей одного из торцов калориметра;
- проведено исследование коллективных эффектов для 12x2 регистрирующих модулей цилиндрического калориметра. Выработаны и внесены в разработку модификации, подавляющие наводки соседних плат;
- проведена разработка проекта для программируемой логической интегральной схемы модуля коллектора для передачи информации по оптическому каналу;
- проверена работа системы считывания при скорости запуска до 30КГц. По результатам этой проверки подготовлено и начато изготовление полного комплекта модулей;
- подготовлена и заказана тестовая партия модулей регистрации для торцевой части калориметра.

## 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 B-мезонов с детектором Belle на электрон-позитронном накопителе с очень высокой светимостью (так называемой B-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  $10^{40}$  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 2013 год.

- Продолжается изучение смешивания нейтральных D-мезонов.
- Выполнен поиск распадов экзотического состояния X в моды с участием  $\eta_c$ -мезона.
- Измерены параметры  $Z_b$ -состояний.
- Впервые обнаружен нейтральный резонанс  $Z_b^0(10610)$ .
- Получены предварительные результаты работы по изучению распада  $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \omega \pi^-$ .
- Выполнен поиск распадов с нарушением лептонного аромата  $\tau^- \rightarrow l' h h'$ .
- Завершено измерение относительных вероятностей распада и спектров масс для распадов  $\tau$  с  $K_S^0$  мезоном в конечном состоянии.
- Начата работа по изучению распадов  $\tau$ -лептона в три псевдоскалярных заряженных мезона и нейтрино.
- Завершено измерение относительной вероятности распада  $\Lambda_c^+ \rightarrow p K \pi^+$ .

- Разработан и произведен VME-крейт для электроники калориметра.
- Изготовлена и проверена первая партия массового производства формирователей-оцифровщиков.
- Изготовлена и проверена модификация платы для торцевого калориметра.
- Разработана пилотная версия модуля коллектора для работы с высокоскоростным оптическим обменом информацией. Новый модуль был произведен, его работа была проверена в условиях высоких скоростей считывания.
- Проведены работы по модернизации фильтра питания фотоприемников заднего торцевого калориметра.

### 1.9.2. Анализ данных.

#### Модельно-независимое измерение параметров смешивания нейтральных D-мезонов

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. Метод использует трехчастичное конечное состояние, однако не использует модель распада D-мезона, что позволяет избавиться от модельной ошибки. Параметры смешивания являются принципиально важными для физики charm-кварка, измерение параметров CP-нарушения в смешивании обеспечит проверку Стандартной Модели, т.к. 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  $\gamma$ . К этому моменту изучены распределения кинематических параметров для сигнальных и фоновых событий; разработана процедура извлечения параметров смешивания из распределения по времени распада D-мезона; изучаются корреляции между кинематическими параметрами событий и измеренным временем распада D-мезона (рис. 1.9.1).

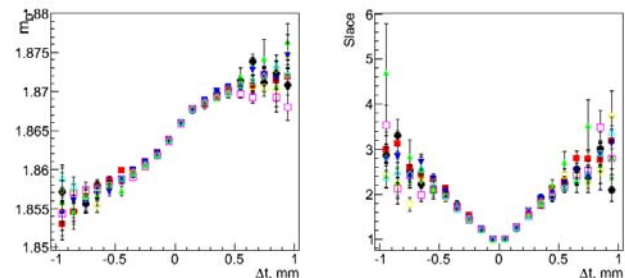


Рис. 1.9.1. Среднее значение (слева) и среднеквадратичное отклонение (справа) распределения по измеренной массе D-мезона в зависимости от ошибки измерения времени распада D-мезона.

### Поиск распадов X в моды с участием $\eta_c$ -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  $\eta_c$ -мезона. Если возможны молекулярные состояния типа  $D^0 \bar{D}^{*0} u D^0 \bar{D}^{*0}$ , такие частицы обладают массой отличной от 3872 МэВ и были обозначены как X(3730) и X(4014), соответственно. Группой сотрудников института был проведен поиск распадов похожих на X экзотических состояний в различных модах с участием  $\eta_c$ :  $\eta_c \pi^+ \pi^-$ ,  $\eta_c \omega$ ,  $\eta_c \eta$  и  $\eta_c \pi^0$ . Был разработан алгоритм выделения событий распада  $B^\pm \rightarrow K^\pm X$  с последующим распадом X в вышеперечисленные моды. 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 готова к публикации и в данный момент проходит процедуру обсуждения внутри коллаборации.

### Изучение экзотических состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$

В 2010-2011 годах группой института, 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 наблюдение двух новых заряженных боттомоний-подобных состояний  $Z_b(10610)$  и  $Z_b(10650)$  (Phys. Rev. Lett. 108, 122001). На рисунке (1.9).3 показано распределение по инвариантной массе  $Y(nS)\pi$

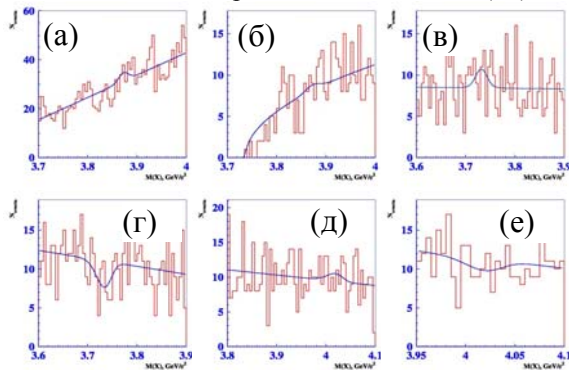


Рис. 1.9.2. Подгонка распределений инвариантных масс  $\eta_c \pi^+ \pi^-$  (а) и  $\eta_c \omega$  (б) в области резонанса X(3872),  $\eta_c \eta$  (в) и  $\eta_c \pi^0$  (г) в области резонанса X(3730),  $\eta_c \pi^0$  (д) и  $\eta_c \pi^0$  (е) в области резонанса X(4014).

системы, где хорошо видны два пика. Техника Далиц анализа, примененная сотрудниками института, позволила провести полный амплитудный анализ шестимерного фазового пространства этих переходов.

Важнейшим результатом данной работы стало измерение параметров  $Z_b$  состояний: масс, ширины, спина и P-четности, а также относительной фазы между амплитудами  $Y(nS) \rightarrow Z_b(10610)\pi$  и  $Z_b \rightarrow Z_b(10650)\pi$ .

Существование распадов вида  $Z_b \rightarrow Y(nS)\pi^\pm$  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  $Z_b(10650)$  состояний, соответственно (Phys. Rev. D 84, 054010). 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.

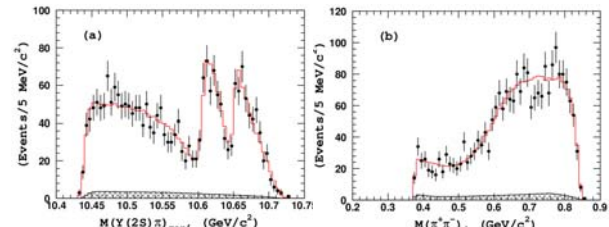


Рис. 1.9.3. Распределение по инвариантной массе  $Y(2S)\pi^\pm$  системы (слева) и  $\pi^+\pi^-$  системы (справа) для событий из сигнальной области для распада  $Y(5S) \rightarrow Y(2S)\pi^+\pi^-$ . Точки – экспериментальные данные, гистограмма – результат подгонки, заштрихованная гистограмма показывает ожидаемый уровень фоновых событий.

Так, из предложенной модели следует, что доминирующими каналами распада для  $Z_b(10610)$  и  $Z_b(10650)$  будут распады на  $B\bar{B}^*$  и  $B^*\bar{B}^*$  соответственно. Существенной трудностью в поиске этих распадов является восстановление B-мезонов, которые не имеют доминирующих каналов распада. Большой объем данных, полученный в эксперименте Belle, позволил не только выделить трехчастичные процессы  $\gamma(5S) \rightarrow B\bar{B}\pi$ , но и впервые провести анализ динамики этих переходов. На Рис. 1.9.4 показано распределение по массе  $B\bar{B}^*$  и  $B^*\bar{B}^*$  систем и результаты аппроксимации с помощью различных моделей.

Предварительные результаты согласуются с гипотезой о том, что трехчастичные переходы  $\gamma(5S) \rightarrow B\bar{B}^*\pi$  и  $\gamma(5S) \rightarrow B^*\bar{B}^*\pi$  происходят преимущественно через промежуточное рождение  $Z_b$  состояний. Работа завершена и в данный момент проходит процедуру обсуждения внутри коллаборации.



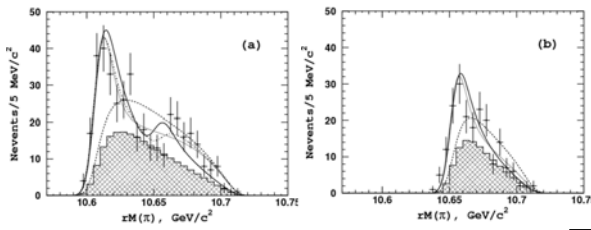


Рис. 1.9.4. Распределение по инвариантной массе  $BB^*$  системы (слева) и  $B^*B^-$  системы (справа) для событий из сигнальной области для распадов  $\gamma(5S) \rightarrow B\bar{B}^*\pi$  и  $\gamma(5S) \rightarrow B^*\bar{B}^-\pi$ , соответственно. Точки – экспериментальные данные, линии – результат подгонки различными моделями, заштрихованная гистограмма показывает ожидаемый уровень фоновых событий.

### Первое наблюдение нейтрального резонанса $Z_b^0(10610)$

В 2010-2011 годах группой института, входящей в коллаборацию Belle, было проведено первое наблюдение заряженных боттомоний-подобных состояний  $Z_b(10610)$  и  $Z_b(10650)$  (Phys. Rev. Lett. 108, 122001). Продолжением этого анализа является поиск нейтральных изоспиновых партнеров в конечном состоянии  $Y(nS)\pi^0\pi^0$ .

На детекторе Belle при анализе  $121 \text{ fb}^{-1}$  данных, набранных вблизи резонанса  $Y(10860)$  обнаружены распады  $Y(10860) \rightarrow Y(nS)\pi^0\pi^0$ ,  $n=1,2,3$ . Измерены сечения  $\sigma(e^+e^- \rightarrow Y(10860) \rightarrow Y(1S)\pi^0\pi^0) = (1,16 \pm 0,06 \pm 0,10)$  пб,  $\sigma(e^+e^- \rightarrow Y(10860) \rightarrow Y(2S)\pi^0\pi^0) = (1,87 \pm 0,11 \pm 0,23)$  пб, and  $\sigma(e^+e^- \rightarrow Y(10860) \rightarrow Y(3S)\pi^0\pi^0) = (0,98 \pm 0,24 \pm 0,19)$  пб. Полученные результаты согласуются с предсказанием из сечений  $e^+e^- \rightarrow Y(10860) \rightarrow Y(nS)\pi^+\pi^-$ , учитывая закон сохранения изоспина (arXiv:1209.6450).

Проведен анализ диаграммы Далица для этих процессов. Впервые обнаружен нейтральный резонанс  $Z_b^0(10610)$ , распадающийся на  $Y(2,3S)\pi^0$ . Значимость сигнала, учитывая систематические ошибки, составила  $6,5\sigma$ . Также была измерена масса этого резонанса  $(10609 \pm 4 \pm 4) \text{ МэВ}/c^2$ , что согласуется с массой соответствующего заряженного состояния,  $Z_b^\pm(10610)$ . Полученные результаты опубликованы и доложены на международных конференциях.

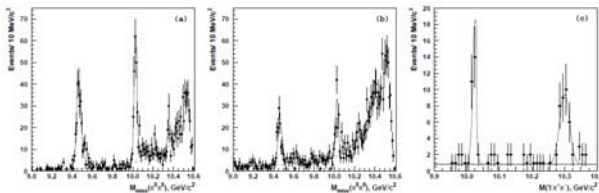


Рис. 1.9.5. Масса отдачи к системе  $\pi^0\pi^0$  для событий (а)  $Y(nS)[\mu^+\mu^-]\pi^0\pi^0$  и (б)  $Y(nS)[e^+e^-]\pi^0\pi^0$ . (с) инвариантная масса  $Y(1S)\pi^+\pi^-$  для событий  $Y(2S)[Y(1S)\pi^+\pi^-]\pi^0\pi^0$ . Точки с ошибками показывают данные, кривые – результат подгонки.

### Далиц анализ распада $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+}\omega\pi^-$

Сотрудниками института были получены предварительные результаты работы. В частности, была измерена полная ширина распада  $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+}\omega\pi^-$ . С использованием техники Далиц анализа были определены ширины следующих резонансных распадов:

$$\begin{aligned} \bar{B}^0 &\rightarrow D^{*+}\rho(770)^-\rightarrow D^{*+}\omega\pi^-, \\ \bar{B}^0 &\rightarrow D^{*+}\rho(1450)^-\rightarrow D^{*+}\omega\pi^-, \\ \bar{B}^0 &\rightarrow D_1(2430)^0\omega \rightarrow D^{*+}\pi^-\omega, \\ \bar{B}^0 &\rightarrow D_1(2420)^0\omega \rightarrow D^{*+}\pi^-\omega. \end{aligned}$$

Наблюдаются как вклады  $\rho$ -подобных резонансов, так и  $D^{*}$ -состояний. Были получены эффективные параметры (константы связи и фазы), описывающие динамику рождения этих состояний с учетом интерференции между ними и эффектов взаимодействия в конечном состоянии. Была измерена ширина запрещенного в рамках гипотезы факторизации распада  $\bar{B}^0 \rightarrow D_2(2460)^0\omega \rightarrow D^{*+}\pi^-\omega$ . Ширины распадов  $\bar{B}^0 \rightarrow D_2(2460)^0\omega$  и  $\bar{B}^0 \rightarrow D_1(2420)^0\omega$  оказываются сравнимыми, как и было предсказано в рамках теории SCET. Кроме того, получен верхний предел на распад  $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+}b_1(1235)^-\rightarrow D^{*+}\omega\pi^-$ . Этот результат является первой попыткой наблюдения  $b_1(1235)$ -резонансов в распадах В-мезонов. В работе также были измерены продольные поляризации  $D^{*}$ -состояний. Результаты укладываются в общую картину, которая наблюдается в распадах, запрещенных по цвету. В таких распадах наблюдается нарушение гипотезы факторизации. В рамках Далиц-анализа была проведена небинированная подгонка к экспериментальным данным. Результаты подгонки с сигнальными и фоновыми распределениями показаны на рисунке 1.9.6.

В настоящий момент результаты работы обсуждаются внутри коллаборации Belle и в скором будущем будут опубликованы.

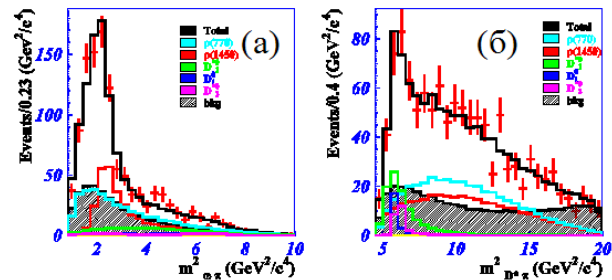


Рис. 1.9.6. Результаты подгонки сигнальной области на Далиц-плоте. а) Распределение по квадрату массы  $\omega\pi$ -пары, б) распределение по квадрату массы  $D\pi$ -пары. Точки — экспериментальные данные, штрихованная гистограмма — вклад фона в сигнальную область, открытые гистограммы — вклады сигнальных компонент и черная гистограмма — полный результат подгонки.

### Изучение распадов $\tau$ -лептона

Завершен поиск распадов с нарушением лептонного аромата  $\tau^- \rightarrow l^+ hh'$ , где  $l = e, \mu$ , а  $h = \pi, K$ . Всего изучались 14 различных мод распада. Используя большой объем данных ( $782 \times 10^6$  рожденных пар  $\tau$ -лептонов), были установлены верхние пределы на следующие относительные вероятности распада:  $B(\tau^- \rightarrow e^+ hh') < (2,0 - 3,7) \times 10^{-8}$ ,  $B(\tau^- \rightarrow \mu^+ hh') < (2,1 - 8,6) \times 10^{-8}$ , на 90% уровне достоверности. Эти пределы являются наиболее сильными среди всех подобных поисков. Результаты работы опубликованы в журнале *Physics Letters B*.

Еще один завершённый анализ экспериментальной информации посвящен измерению относительных вероятностей распада и спектров масс для распадов  $\tau$  с  $K_S^0$  мезоном в конечном состоянии. Объем данных для этого анализа составил  $669 \text{ фб}^{-1}$  или  $616 \times 10^6$  рожденных пар  $\tau$ -лептонов. Окончательные значения для относительных вероятностей получены для инклюзивного распада  $\tau^- \rightarrow K_S^0 X^+ \nu_\tau$ , а также для шести эксклюзивных мод:  $\tau^- \rightarrow K_S^0 \pi^+ \nu_\tau$ ,  $\tau^- \rightarrow K_S^0 K^+ \nu_\tau$ ,  $\tau^- \rightarrow \pi^0 K_S^0 \pi^+ \nu_\tau$ ,  $\tau^- \rightarrow \pi^0 K_S^0 K^+ \nu_\tau$ ,  $\tau^- \rightarrow K_S^0 K^0 \pi^+ \nu_\tau$  и  $\tau^- \rightarrow K_S^0 K^0 \pi^0 \nu_\tau$ . В последнем случае найдены также спектры инвариантных масс для конечных состояний  $K_S^0 K^0 \pi^0$  и  $K_S^0 \pi^+$ . В первом случае мы наблюдаем явную промежуточную структуру, соответствующую рождению  $f_1(1285)$  со значимостью 5,9 стандартных отклонений, а во втором виден  $K^{*+}(892)$ -мезон. Эти результаты были доложены на конференции PhiPsi13 в Риме. В настоящее время ведется работа над окончательным вариантом журнальной статьи.

Еще одним направлением является изучение распадов  $\tau$ -лептона в три псевдоскалярных заряженных мезона и нейтрино ( $\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^+ \nu_\tau$ ,  $\tau^- \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^+ \nu_\tau$ ,  $\tau^- \rightarrow \pi^+ K^+ \pi^+ \nu_\tau$ ,  $\tau^- \rightarrow K^+ K^+ K^+ \nu_\tau$ ). В результатах измерений относительных вероятностей этих распадов имеются расхождения между экспериментами Belle и BaBar. Поэтому сотрудники института проводят новое измерение на всей доступной статистике. На данный момент проведено моделирование вышеуказанных распадов и написаны программы для обработки данных, которые позволяют получить результат пока без учета некоторых поправок и систематических ошибок. В следующем году планируется получить окончательный результат.

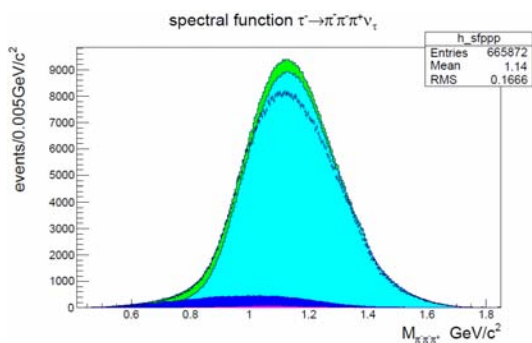


Рис. 1.9.7. Спектральная функция для распада  $\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^+ \nu_\tau$ .

### 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. Кроме того, вероятность большинства других распадов  $\Lambda_c^+$  бариона экспериментально измерены относительно этой моды. Значение абсолютной вероятности этого распада обладает большой неопределённостью, в основном, из-за зависимости проделанных измерений от теоретических моделей. Сотрудниками института разработана модельно-независимая методика измерения вероятности распада  $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^+ \pi^+$ , основанная на выделении эксклюзивных процессов типа  $e^+ e^- \rightarrow \Lambda_c^+ \text{ anti-} p \pi^+ D^{(*)}$  двумя способами: (1) восстановление  $\Lambda_c^+$  в массе отдачи и (2) поиск искомого процесса с регистрацией  $\Lambda_c^+$  в инвариантной массе  $p K^+ \pi^+$ . Отношение (2) к (1) даёт искомый результат  $(6,84 \pm 0,24^{+0,21}_{-0,27})\%$ , что в пять раз точнее текущего значения этой величины,  $(5,0 \pm 1,3)\%$ . Работа завершена и будет опубликована после одобрения коллаборацией.



Рис. 1.9.8. Изготовленные модули формирователей-оцифровщиков в стеллаже.

### 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  $\tau$ -лептона.

Увеличение светимости и фоновой загрузки на коллайдере приводит к новым требованиям к системам детектора. Для обеспечения эффективной работы системы детектора также требуется модернизация. Группа сотрудников института участвует в методических работах по модернизации калориметрической системы детектора.

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 скинтилляционных 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 2013 году была изготовлена первая партия массового производства – 100 модулей формирователей-оцифровщиков (рис. 1.9.8) – основного блока новой системы электроники. Этот блок 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. Все модули были проверены на специальном стенде, разработанном в прошлом году. Все характеристики модулей удовлетворяют техническим требованиям (рис. 1.9.9). В 2013 году был отдан заказ на массовое производство 280 модулей формирователя-оцифровщика.

В 2013 году была изготовлена и проверена модификация платы для торцевого калориметра. Внешний вид платы показан на рисунке 1.9.10. К апрелю 2014 года будет изготовлено десять таких плат. С ними будут проведены окончательные тесты, после чего начнется массовое производство.

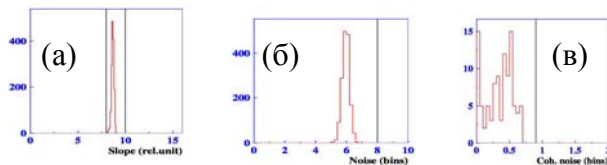


Рис. 1.9.9. Распределение измеренных характеристик модулей: а) коэффициент преобразования; б) полные шумы каналов; в) когерентные шумы модуля.

В 2013 году была разработана окончательная конструкция и произведен VME-крейт для электроники калориметра. Внешний вид крейта показан на рисунке 1.9.11. Крейт, оснащенный двенадцатью модулями формирователей-оцифровщиков, был подключен к модулю цилиндрического калориметра. На этом крейте было изучено поведение когерентных шумов и выбрана оптимальная система заземлений. Полученные величины шумов согласуются с ожидаемыми значениями.



Рис. 1.9.10. Внешний вид модуля формирователя-оцифровщика для торцевого калориметра.

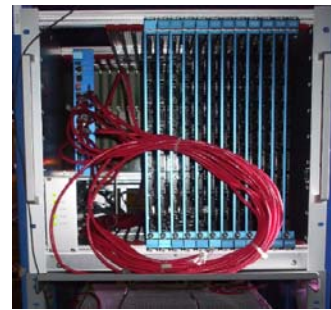


Рис. 1.9.11. VME-крейт с модулями электроники.

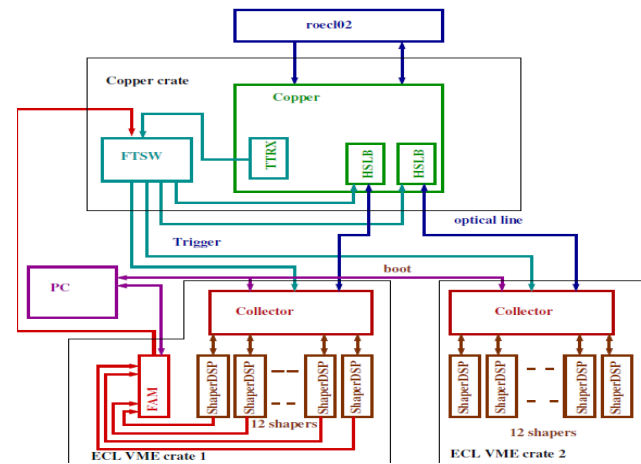


Рис. 1.9.12. Схема считывания информации калориметра по оптическому каналу.

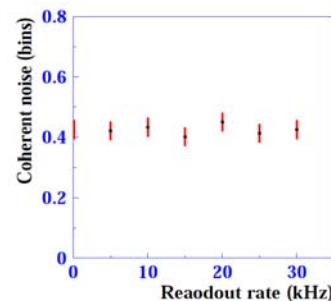


Рис. 1.9.13. Зависимость когерентного шума на плате формирователей-оцифровщиков от скорости считывания.

Кроме разработки модуля формирователей-оцифровщиков командой института была разработана пилотная версия модуля коллектора для работы с высокоскоростным (Гигабит/сек) оптическим обменом информацией. Новый модуль был произведен, его работа была проверена в условиях высоких скоростей считывания. Была собрана схема, имитирующая систему сбора данных Belle II, показанная на рисунке 1.9.12. Загрузка проектов ПЛИС в модули формирователей-оцифровщиков (ShaperDSP) проводилась с компьютера (PC) через модуль коллектора (Collector) по обычному ethernet каналу. Считывание данных происходило по оптическому каналу в процессор на плате системы сбора данных (Corper). Запуск вырабатывался программным образом с помощью временного блока (TTRX) и поступал на триггерный модуль (FTSW), синхронизирующий работу системы. Было показано, что модуль позволяет работать с нагрузками до 30 кГц, при этом не наблюдается увеличения шумов, как показано на рисунке 1.9.13.

В ходе эксперимента Belle II ожидается существенно больший поток нейтронов от взаимодействия потерянных электронов пучка с материалом конструкции ускорителя и детектора. Темновой ток полупроводниковых фотоприемников увеличивается пропорционально интегральному потоку нейтронов через фотоприемник. В марте 2013 года проводились работы по модернизации фильтра питания фотоприемников заднего торцевого калориметра. Модернизация заключалась в замене резисторов фильтра питания на резисторы меньшего номинала, для того чтобы обеспечить возможность работы фотоприемников после облучения нейтронным потоком. Для этой модернизации было необходимо: разобрать калориметр, демонтировать предусилители, заменить в них резисторы, провести проверку их работоспособности, установить предусилители на кристаллы, закрыть калориметр и произвести окончательную проверку на космических частицах. Этапы разборки сектора (1/16) калориметра показаны на рисунке 1.9.14. Эта работа проводилась командой, включающей 5 человек, и потребовала полтора месяца. В результате все фильтры были модернизированы, и проверка показала работоспособность всех 960 каналов.



Рис. 1.9.14. Этапы разборки сектора калориметра и замены резисторов.

В 2014 году планируется получить и провести проверку 280 модулей формирователей-оцифровщиков и

52 коллекторов. В планах также установить электронику цилиндрического калориметра на детектор, подсоединить все счетчики и произвести проверку работоспособности каналов. Планируется начать массовое производство модулей формирователей-оцифровщиков торцевого коллектора. Кроме того, предстоит провести модернизацию предусилителей переднего торцевого калориметра и проверку его счетчиков.

## 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, в том числе 11 сотрудников ИЯФ. Члены коллаборации от ИЯФ участвуют в анализах данных по измерению элемента матрицы СКМ  $V_{ub}$ , измерению сечений  $e^+e^-$  аннигиляции в адроны с использованием метода радиационного возврата и изучению двухфотонных процессов с регистрацией рассеянных электронов. В 2013 году коллаборацией было опубликовано 26 статей. Полное число публикаций достигло 529.

В 2013 году методом радиационного возврата в диапазоне энергии от порога до 6,5 ГэВ измерено сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ . За исключением узкого диапазона вблизи 4 ГэВ это самое точное на сегодняшний день измерение сечения. Из данных по сечению была извлечена энергетическая зависимость эффективного протонного формфактора, которая показана на рисунке 1.10.1 в сравнении с уже существующими данными, полученными как в  $e^+e^-$ , так и в  $p\bar{p}$  аннигиляции.

Рост формфактора вблизи порога объясняется сильным взаимодействием протона и антипротона в конечном состоянии. При более высоких энерги-

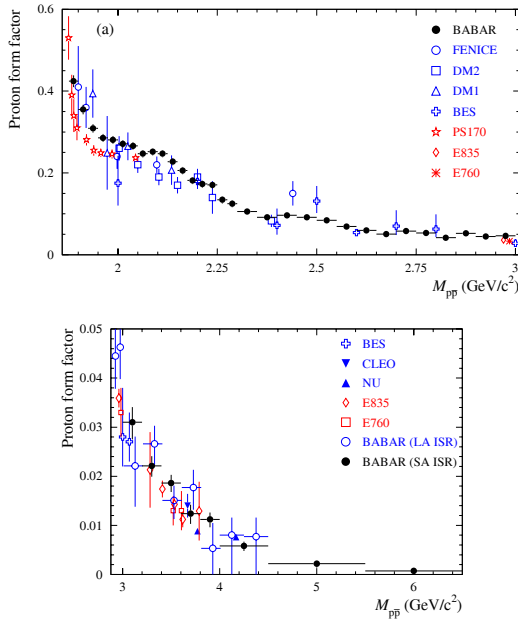


Рис. 1.10.1. Измеренная в эксперименте BABAR зависимость эффективного протонного формфактора от инвариантной массы  $p\bar{p}$  пары в двух интервалах по массе в сравнении с результатами предыдущих экспериментов.

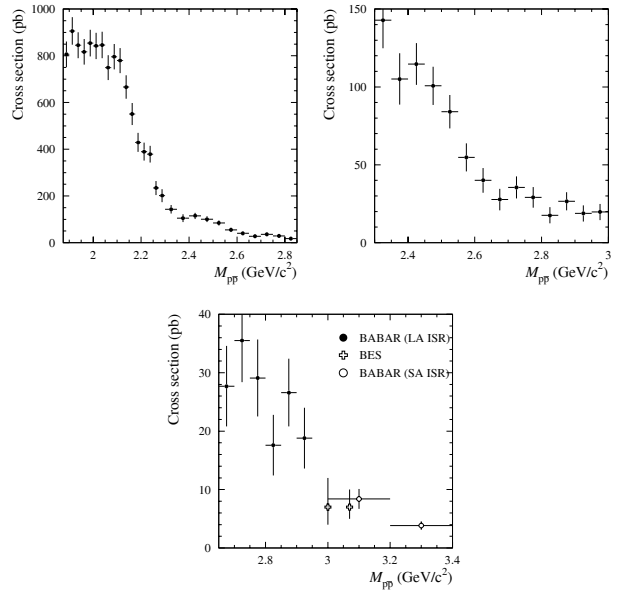


Рис. 1.10.2. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$  вблизи 2,2, 2,5 и 3 ГэВ/ $c^2$ .

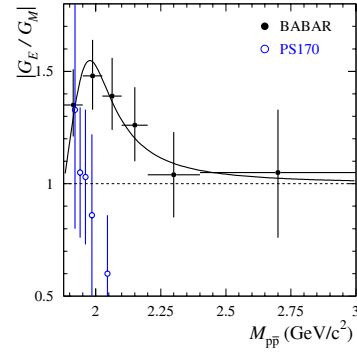


Рис. 1.10.3. Измеренное в эксперименте BABAR отношение формфакторов  $|G_E/G_M|$  в сравнении с данными эксперимента PS170.

ях обнаружено сложное поведение сечения и формфактора: их резкое ступенеобразное уменьшение вблизи 2,2, 2,5 и 3,0 ГэВ. Такое поведение не описывается существующими теоретическими моделями. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$  в областях по инвариантной массе вблизи упомянутых выше ступеней показано на рис. 1.10.2.

При анализе угловых распределений протон-антипротонных событий измерена энергетическая зависимость отношения электрического и магнитного формфакторов  $|G_E/G_M|$ . Результат измерения приведен на рисунке 1.10.3. При энергии ниже 2,2 ГэВ величина отношения  $|G_E/G_M|$  оказалась существенно больше единицы. Этот результат находится в противоречии с единственным предыдущим измерением.

При энергии выше 4,2 ГэВ сечение и времени-

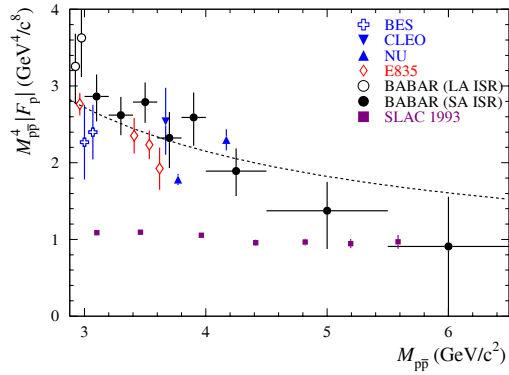


Рис. 1.10.4. Нормализованный (умноженный на  $M_{pp}^4$ ) эффективный формфактор протона выше 3 ГэВ/ $c^2$ .

подобный формфактор протона измерены впервые. Проведено сравнение результата ВАВАР с данными по пространственноподобному формфактору, которое демонстрируется на рисунке 1.10.4. Точки, обозначенные “SLAC 1993”, показывают данные по пространственноподобному формфактору, измеренному в  $ep$ -рассеянии. Кривая — это результат аппроксимации данных асимптотической зависимостью, предсказанной в рамках КХД. Видно, что величины времени- и пространственноподобных формфакторов при энергии выше 4.5 ГэВ сближаются, что соответствует теоретическим ожиданиям.

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

## 1.11. УЧАСТИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ АТЛАС НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ

В 2010-2012 годах детекторы ATLAS и CMS набирали статистику при рекордной энергии столкновений протонов (7 ТэВ в 2010-2011 годах и 8 ТэВ в 2012 году в системе центра масс). Интеграл набранной статистики составил соответственно 0,04, 4,7 и 20,7 обратных фемтобарн. Основным результатом стало достоверное наблюдение сигнала от новой частицы, свойства которой оказались близки к ожидаемым для хиггсовского бозона Стандартной Модели. Нобелевская премия по физике 2013 года была присуждена П. Хиггсу и Ф. Энглеру «За открытие теоретического механизма, помогающего понять происхождение массы субатомных частиц, и недавно подтверждённого обнаружением предсказанной элементарной частицы в экспериментах ATLAS и CMS на Большом адронном коллайдере в ЦЕРН».

В 2013 году после набора данных при столкновениях протонов и ионов свинца в январе-феврале Большой адронный коллайдер и детекторы были остановлены на двухлетнюю плановую остановку. Целью ее является подготовка к работе при проектных параметрах – энергии столкновений протонов 14 ТэВ в системе центра масс и светимости  $10^{34}$  см<sup>-2</sup>сек<sup>-1</sup>. На детекторе АТЛАС планируется проведение следующих работ:

- ремонт и замена неисправных элементов детектора и электроники;
- установка новых элементов детектора, в частности, вставного слоя внутреннего детектора для регистрации распадов частиц, содержащих b-кварк;
- повышение эффективности и увеличение быстродействия алгоритмов триггера и реконструкции;
- подготовка всей вычислительной инфраструктуры для обработки существенно большего объема данных.

Все вышеперечисленное не отменяет высокого приоритета работ по анализу набранных в 2011-2012 годах данных и скорейшей публикации результатов. Основной задачей является изучение свойств недавно открытой частицы (спина, чётности, относительных вероятностей различных мод распада, констант связи). Группа ИЯФ участвовала в анализе распада хиггсовского бозона на четыре лептона. На рисунке 1.11.1 приведено распределение по инвариантной массе четырех лептонов для отобранных событий-кандидатов. Показаны ожидаемый вклад фоновых процессов, а также ожидаемый сигнал при массе хиггсовского бозона 124,3 ГэВ и силе сигнала (отношению измеренного сечения к сечению в Стандартной Модели)  $\mu=1,43$  (параметры определены из подгонки данных). Анализ угловых распределений в различных модах распада хиггсовского бозона показывает, что данные

хорошо согласуются с ожидаемыми в Стандартной Модели значениями спина и четности бозона  $J^P = 0^+$ , в то время как другие рассмотренные гипотезы ( $J^P = 0^-, 1^+, 1^-, 2^+$ ) исключены на доверительном уровне 97,8 %. Кропотливая работа специальных групп по калибровке детектора позволила заметно уменьшить систематические ошибки в эффективности реконструкции и в точности калибровки энергетической шкалы. Группа ИЯФ участвовала в работах по калибровке калориметра и улучшению моделирования и реконструкции электронов и фотонов. Также был разработан метод измерения эффективности идентификации струй от тяжелых кварков с большими поперечными импульсами.

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 2 ТэВ), сечения рождения и константы связи тяжелых нейтрино. Однако дальнейшее существенное продвижение возможно только при увеличении энергии сталкивающихся протонов в ЛHC (как отмечено выше, оно планируется в 2015 году).

Всего после начала набора статистики (в 2010-2013 годах) коллаборацией АТЛАС при участии группы ИЯФ опубликовано 273 работы, из них 75 в 2013 году.

Постоянно ведется работа по поддержке и развитию компьютерной инфраструктуры и программного обеспечения. Благодаря 10-гигабитному каналу связи физики ИЯФ могут вести обработку данных в компьютерных центрах НГУ и СО РАН. В 2013 году в ИЯФ введены в эксплуатацию 4 крейта HP Blade System (512 ядер). С использованием системы управления Puppet на вычислительных узлах развернута ОС Scientific Linux 6 с поддержкой системы виртуализации KVM.

С 2007 года специалисты ИЯФ непрерывно принимают участие в деятельности группы системного администрирования системы сбора данных эксперимента АТЛАС (ATLAS TDAQ SysAdmin Group). Группа занимается эксплуатацией и развитием компьютерного обеспечения триггера высокого уровня (High Level Trigger), системы формирования и фильтрации событий (Event Builder, Event Filter) и других подсистем системы сбора данных детектора ATLAS, имеющих в своем составе около 2300 серверов с поддержкой загрузки по сети (в сумме, около 17000 ядер CPU), около 100 вспомогательных управляющих серверов, 50 серверов поддержки пультовой детектора ATLAS, а также многие другие компоненты IT инфраструктуры эксперимента. Основная деятельность группы в

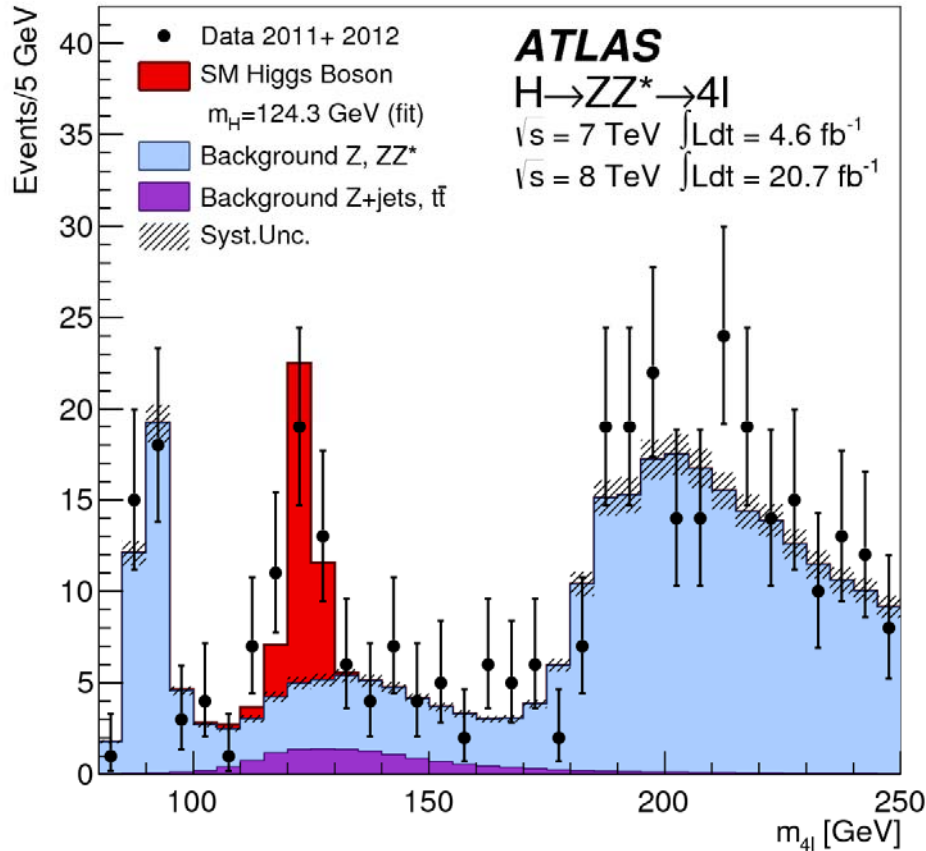


Рис. 1.11.1. Распределение по инвариантной массе четырех лептонов  $m_{4l}$  для отобранных событий-кандидатов. Точки – экспериментальные данные. Гистограммы показывают ожидаемый вклад фоновых процессов, а также ожидаемый сигнал при массе хиггсовского бозона 124.3 ГэВ и силе сигнала (отношению измеренного сечения к сечению в Стандартной Модели)  $\mu=1.43$  (параметры определены из подгонки данных).

2013 году была связана с миграцией всего программного обеспечения на версию ОС SLC6, а также переходу с физической платформы MS Windows на виртуализацию по схеме Linux KVM Virtual Host + MS Windows Virtual Machines. На время плановой остановки значительная часть вычислительной структуры системы сбора данных использовалась для моделирования событий для детектора ATLAS, для этого, с участием группы ИЯФ, была создана специальная инфраструктура.

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 распределенных вычислений, баз данных, электронного журнала детектора, монитора качества данных, дисплея событий и др. В 2013 году работа была в основном посвящена подготовке к переходу на новые системы конфигурирования и виртуализации.

Начиная с 2008 года программисты ИЯФ вносят весомый вклад в создание и развитие важнейших серви-

сов и утилит для управления системой распределенных вычислений (ATLAS GRID). Информационная Система (ATLAS GRID Information System - AGIS) стала основным источником информации о топологии компьютерных ресурсов АТЛАСа и доступных релизах программного обеспечения. Она интегрирована с другими ключевыми компонентами системы распределенных вычислений: центральной системой распределенного хранения данных (DDM, ATLAS Distributed Data Management System), системой распределенного анализа и запуска заданий (PanDA, ATLAS Production and Distributed Analysis), сервисами мониторинга.

Также ведутся работы по подготовке модернизации детектора в последующие годы. Подготовлены и проходят стадию одобрения Отчеты о техническом планировании (TDR, Technical Design Reports) различных систем детектора (калориметра на жидком аргоне, триггера и системы сбора данных, быстрого трекера, нового малого колеса мюонной системы) для так называемой «фазы 1 апгрейда». Модернизация планируется на 2018-2019 годы и затронет в основном триггерную электронику. Группа ИЯФ планирует участие



в работах по цифровой части электроники калориметра на жидком аргоне (программирование FPGA микросхем). В ЦЕРНе разрабатывается проект модернизации коллайдера LHC с целью повышения светимости на порядок до  $10^{35} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ . Группа ИЯФ принимает участие в эксперименте по исследованию работоспособности жидкоаргоновых калориметров AT-LASa при высоких нагрузках. В апреле 2012 года и марте 2013 года на ускорителе У-70 в Протвино были проведены сеансы набора данных с новой электроникой, значительно лучше адаптированной к работе при высоких нагрузках. Другим важным улучшением в

этих сеансах был лучший контроль за пространственными характеристиками пучка протонов с энергией 50 ГэВ. Новая камера на основе вторичной эмиссии электронов, изготовленная в ИЯФ, позволила измерять профиль (по обеим поперечным координатам) и интенсивность пучка с интервалом 0,15 с. Ранее было возможно только одно измерение на сброс пучка (длительностью около 1,5 с). В настоящее время продолжаются анализ данных и сравнение с моделированием.

## 1.12. ЭКСПЕРИМЕНТ LHCb

### 1.12.1. Техническое обеспечение работы LHCb.

Поток данных с детектора LHCb, который записывается для последующего сохранения и обработки, состоит из событий размером около 30 кБ, проходящих через триггер высокого уровня (HLT2) с частотой около 2-5 кГц. Таким образом, поток данных, который необходимо сохранить, составляет более 100 МБ/с или более 1000 ТБ за год работы. Этот объем слишком велик для предоставления для обработки каждому отдельному анализу. Вместо этого в эксперименте LHCb применяется централизованный предварительный офлайн 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, который содержит сходные события (например, в один поток могут группироваться все каналы с мюонами в конечном состоянии или события из распадов D-мезонов), содержит уже гораздо меньшее количество событий, которое реально обработать за относительно небольшое время в системе GRID. Кроме того, файлы данных после «стриппинга» уже содержат в себе информацию о частицах-кандидатах и их комбинации, что еще 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 мюон с большим поперечным импульсом, «топологические» отборы и так далее).

Сотрудники института являются ответственными за разработку и поддержку программной среды, которая осуществляет предварительный отбор событий («стриппинг») по описанию критериев отбора, заданному разработчиками физического анализа. Поскольку такой предварительный отбор во многом сходен с триггером высокого уровня (который на LHCb также выполнен программно), среда «стриппинга» является модификацией программ триггера второго уровня HLT2. Среда для «стриппинга» позволяет одновременно работать нескольким сотням процессов отбора физических событий, направляет их для записи в несколько потоков (файлов DST), содержит в себе модули для отладки критериев отбора и мониторингования результатов работы.

Кроме того, группа сотрудников участвует в поддержке предварительного отбора для анализов по измерению угла  $\gamma$  из древесных распадов B-мезонов. Эти анализы нацелены на исследование каналов распада как B на DX, где B — это заряженный ( $B^\pm$ ) либо нейтральный ( $B_d$  или  $B_s$ ) B-мезон, D — заряженный либо нейтральный D-мезон, который реконструирует-

ся в одном из состояний  $D \rightarrow hh$ ,  $D \rightarrow hhh$ ,  $D \rightarrow hhhh$ ,  $D \rightarrow K\pi hh$ ,  $D \rightarrow K\pi l^0$  (здесь h — это заряженный каон или пион), а X-каон, пион, либо комбинация  $\pi l$ , K $l$  или KK. Такие каналы распада покрывают практически все возможные методы измерения угла  $\gamma$  — как из соотношения амплитуд разрешенных и подавленных распадов  $B \rightarrow DK$ , так с помощью времени-зависимых анализов или анализов распределения Далица.

Сотрудники института также участвуют непосредственно в обеспечении функционирования эксперимента, принимая участие в экспериментальных сменах. Набор данных детектором LHCb в 2013 году не производился из-за профилактики коллайдера LHC. Однако, продолжающиеся физические анализы, реконструкция событий и моделирование по-прежнему требуют постоянного контроля. В 2013 году сотрудники провели 11 смен по контролю работы сети GRID (так называемые «production shift»). Основными задачами этих смен являются мониторинг выполняющихся вычислительных заданий и передачи данных. Эти дежурства позволяют повысить эффективность проведения реконструкции данных, моделирования и пользовательских заданий.

Группа сотрудников участвует в работе отдела по моделированию фонов и доз радиационных нагрузок: LHCb background simulation group. Результаты моделирования чрезвычайно важны, они используются не только для сохранения здоровья людей (карты распределения наведенной радиации), но и для поддержания работоспособности оборудования (фон от нейтронов, выделившаяся энергия). Кроме проведения самого моделирования, которое требует сотни тысяч часов машинного времени, результаты нужно опубликовать в удобной форме, доступной служебному персоналу. В 2013 году работы велись по двум направлениям:

- 1) Ввод в эксплуатацию веб-приложения визуализации результатов моделирования фона.
- 2) Развертывание процесса моделирования на кластере HLT.

Веб-приложение визуализации написано на фреймворке WT ([www.webtoolkit.eu](http://www.webtoolkit.eu)) и встраивается в популярные веб-серверы через интерфейс FastCGI. Система установлена и доступна по адресу [cern.ch/lhcbrad](http://cern.ch/lhcbrad) (доступ только для персонала CERN).

В предыдущем году была отработана техника запуска моделирования на узлах GRIDa. Однако, лицензионные ограничения пакета FLUKA ([www.fluka.org](http://www.fluka.org)) накладывают существенные ограничения на такую возможность. На время остановки набора данных было предложено временно использовать ресурсы онлайн-кластера HLT. Кроме запуска самого моделирования была также проведена автоматизация проверки результатов и усреднение результатов множества заходов в один набор файлов. В качестве критерия правильности данных было принято отсутствие пустых файлов или файлов, полностью заполненных нулями, а также отсутствие отрицательных значений, что важно для величины выделившейся энергии или эквива-

лентной дозы. Была разработана система усреднения в два уровня. Перед запуском задания пользователем устанавливается два значения: количество файлов для усреднения на первом и втором уровне. Полное число потоков моделирования должно быть равно или больше произведения этих двух величин. Как только заканчивается работа одного из потоков моделирования, проверяется число выходных файлов и по готовности производится усреднение (уровень 1). В конце происходит окончательное усреднение (уровень 2) и генерация файла для веб-приложения визуализации результатов. В качестве фронтенда используется панель PVSS ([www.pvss.com](http://www.pvss.com)), а бэкендом является набор скриптов на языках bash, ruby и python.

Адронный калориметр HCal используется в качестве одного из аргументов триггера L0. Из-за старения пластика и оптоволокон, а также других возможных повреждений, свойства калориметра меняются. Поэтому очень важна периодическая калибровка калориметра. В калориметре через все ячейки проходит специальная трубка с водой, по которой запускается капсула с радиоактивным источником Цезия. По мере движения капсулы через ячейки калориметра считываются данные, на основе которых и происходит калибровка. Существующая программа калибровки работает под операционной системой Windows XP. Ее невозможно перенести на новые версии Windows из-за отсутствия необходимых драйверов для оборудования EPICS. Было принято решение о переносе соответствующего программного обеспечения под операционную систему Linux. В долгосрочном плане планируется полный перенос программного кода на платформу Linux, но существенным препятствием является большое количество кода, завязанного на WinAPI и GUI-части, написанные на MFC. Кроме того клиентский интерфейс драйверной части (API KVASER для устройств SYSTEC) также существенно отличается от linux интерфейса SocketCAN.

В качестве первого этапа было протестирована работоспособность интерфейса SocketCAN, для чего была написана специальная библиотека Winelib DLL-врэппер (<http://www.winehq.org/docs/winelib-guide/bindlls>) к нативному интерфейсу. Запуск исполняемого модуля для платформы Windows в системе Linux при помощи эмулятора WINE продемонстрировал успешную работу драйвера SocketCAN. В будущем планируется на основе этой программы написать специальную серверную часть для работы в составе SCADA-системы, используемой в CERNe WINCC (называемая ранее PVSS).

### 1.12.2. Физические результаты.

Программа исследований группы сотрудников института в эксперименте LHCb нацелена на наблюдение эффектов, находящихся за пределами Стандартной Модели электрослабых взаимодействий. Одной

из задач в рамках этого общего проекта является прецизионное измерение величин, испытывающих CP-нарушение — угла  $\gamma$  треугольника унитарности и параметров смешивания D-мезонов. Другой задачей является спектроскопия тяжелых адронов.

Объем данных, набранный экспериментом LHCb к 2013 году, составил около  $3 \text{ фб}^{-1}$ . Соответствующее этому объему данных количество реконструированных распадов B-мезонов уже значительно превышает статистику, набранную на электрон-позитронных B-фабриках (по крайней мере, в конечных состояниях, не содержащих  $\pi^0$  или фотоны). Кроме того, в больших количествах доступны распады Bs, B-барионов и возбужденных состояний B, которые либо вовсе не рождаются на электрон-позитронных машинах, либо рождаются в малых количествах. Это позволяет изучать очень редкие распады B-адронов и за счет этого получать хорошую чувствительность к различным расширениям Стандартной Модели.

Ниже приводится обзор физических результатов, полученных коллаборацией LHCb с участием сотрудников института.

### CP-нарушение и измерение угла $\gamma$

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 измерений параметров УТ (например, в отклонении суммы углов треугольника от  $180$  градусов). Таким образом, прецизионные измерения параметров УТ дополняют прямые поиски эффектов «Новой Физики» на высоких энергиях в таких детекторах 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  $\beta$ ) измерен с точностью около  $1$  градуса экспериментами Belle и BaBar на электрон-позитронных коллайдерах. Эксперимент LHCb сможет значительно уточнить многие другие параметры CP-нарушения. В частности, угол  $\gamma$  может быть измерен с точностью до нескольких градусов.

Сотрудники института имеют значительный опыт в проведении анализов, как относящихся непосредственно к измерению угла  $\gamma$  в распадах вида  $B \rightarrow DK$ , так и к исследованию других распадов B-мезонов на состояния с открытым чармом. Эти исследования были начаты на эксперименте Belle на электрон-позитронной фабрике KEKB в Японии и продолжают

ся сейчас на LHCb. Кроме того, сотрудниками института было опубликовано несколько феноменологических работ, посвященных этой теме с предложением новых подходов прецизионных измерений угла  $\gamma$  и исследованием тонких систематических эффектов. Сотрудники института осуществили координацию рабочей группы эксперимента LHCb по исследованию распадов  $B$  на состояния с открытым чармом (Beauty to Open Charm Working Group) — одной из восьми физических рабочих групп эксперимента.

Ранее, в 2011 и 2012 годах, экспериментом LHCb было получено несколько результатов, относящихся к измерению угла  $\gamma$ . Это анализ распада  $B \rightarrow DK$ , где  $D$  реконструируется в двухчастичном состоянии  $D \rightarrow K\ell$ ,  $KK$  или  $\pi\ell$  (так называемые GLW и ADS-методы измерения  $\gamma$ ). В этих распадах впервые надежно наблюдалась зарядовая асимметрия вероятности распадов (CP-нарушение), что позволило надежно установить, что  $\gamma$  не равно нулю и получить ограничения на его величину. Кроме того, в 2012 году был выполнен анализ распада  $B \rightarrow DK$  с  $D$ -мезоном, реконструированным в конечных состояниях  $K_S\pi\ell$  и  $K_S KK$  по методу, впервые предложенному сотрудниками группы института. В анализе, выполненном с использованием всей доступной статистики LHCb, было получено значение  $\gamma = (57 \pm 16)^\circ$ .

Различные подходы к измерению угла  $\gamma$  взаимно дополняют друг друга. Помимо  $\gamma$ , измеряется и два других неизвестных параметра — это отношение амплитуд  $\Gamma_b$  и сильная фаза  $\delta_b$ . За счет того, что корреляции между этими параметрами в каждом отдельном подходе различны, в комбинации нескольких измерений можно получить точность измерения  $\gamma$  лучше, чем при простом усреднении величин. В 2013 году было опубликовано комбинированное измерение угла  $\gamma$ , в котором получено значение  $\gamma = (67 \pm 12)^\circ$  (рис. 1.12.1). Результаты опубликованы в препринте CERN. Помимо распадов, перечисленных выше, в эксперименте LHCb исследуется и большое количество других процессов, в которых может проявляться CP-нарушение и которые потенциально могут быть чувствительны к углу  $\gamma$ . Несмотря на то, что текущего набора данных может быть недостаточно для надежного измерения CP-нарушения в этих процессах, они могут быть использованы в дальнейшем, после профилактики коллайдера LHC, а также после модернизации детектора LHCb в 2018 году. Комбинирование большого количества независимых измерений позволит получить лучшую точность измерения  $\gamma$  и более надежно контролировать систематические погрешности. Исследование таких процессов с текущим набором данных позволяет отладить процедуры отбора событий и более точно прогнозировать будущую точность измерения  $\gamma$ . Кроме того, многие из этих процессов интересны и сами по себе, так как позволяют исследовать промежуточные резонансные состояния адронов, искать новые состояния, проверять теоретические предсказания кварковой модели.

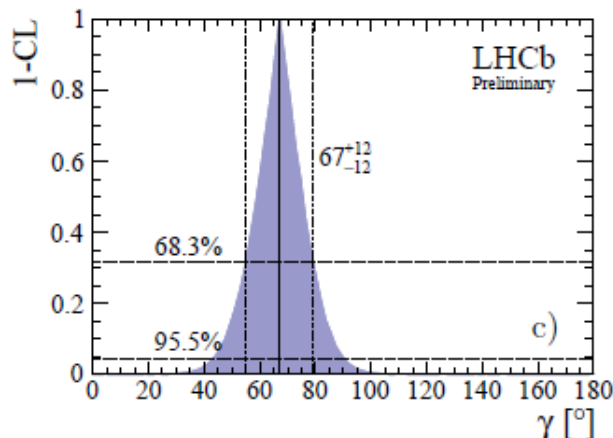


Рис. 1.12.1. Распределение по параметру достоверности для комбинированного измерения угла  $\gamma$  в распадах  $B \rightarrow DK$ .

В 2013 году было опубликовано измерение CP-нарушения в том же распаде  $B \rightarrow DK$ , но с  $D$ -мезоном, реконструированным в конечном состоянии  $D \rightarrow K\ell\ell$ . Хотя наличие CP-нарушения в таком процессе не было надежно установлено из-за недостаточно большой статистики, был зарегистрирован подавленный процесс  $B^+ \rightarrow D\pi^+$ ,  $D \rightarrow K^+\pi^-\pi^+$  (и зарядово-сопряженный к нему), который при большей статистике позволит получить ограничения на угол  $\gamma$ .

Другим примером измерения, в котором потенциально может быть измерен угол  $\gamma$ , является исследование распада бариона  $\Lambda_b^0$  в конечное состояние  $DpK$ . Этот метод был предложен группой института как перспективный для наблюдения CP-нарушения. С использованием части данных LHCb 2011 года ( $330\text{fb}^{-1}$ ), ранее удалось наблюдать этот распад, а также соответствующий ему «контрольный» распад  $\Lambda_b^0 \rightarrow Dp\ell$ . Предварительные результаты были опубликованы в препринте CERN. В 2013 году этот анализ был закончен с использованием статистики 2011 года ( $1\text{fb}^{-1}$ ). Статья, описывающая анализ и его результаты, отправлена для публикации в рецензируемый журнал. Среди результатов этого анализа — первое наблюдение распада  $\Lambda_b^0 \rightarrow DpK$  и измерение его вероятности (рис. 1.12.2), а также первое наблюдение и измерение вероятности распада  $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ K^-$  (рис. 1.12.3 и 1.12.4). Кроме этого, в тех же конечных состояниях впервые обнаружен барион  $\Xi_b^0$ , представляющий собой связанное состояние «прелестного»  $b$ -кварка и «странного»  $s$ -кварка. Ранее эта частица была обнаружена только в одном распаде, на  $\Xi_c^+ \pi^-$ , коллаборацией CDF на коллайдере Tevatron. Нами было выполнено измерение вероятностей соответствующих распадов  $\Xi_b^0$ , а также измерение массы этого бариона с точностью, в два раза лучшей, чем предыдущее измерение CDF.

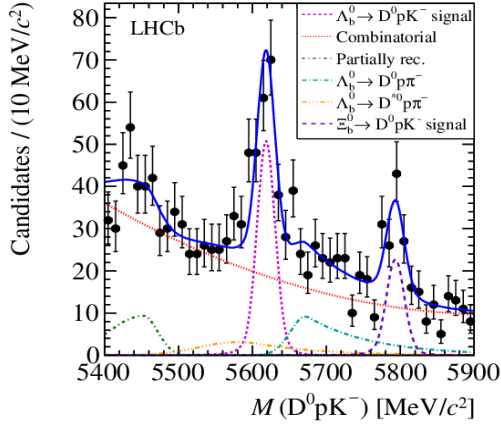


Рис. 1.12.2. Распределение инвариантных масс  $DpK$ , демонстрирующее сигналы  $\Lambda_b^0 \rightarrow DpK$  и  $\Xi_b^0 \rightarrow DpK$ .

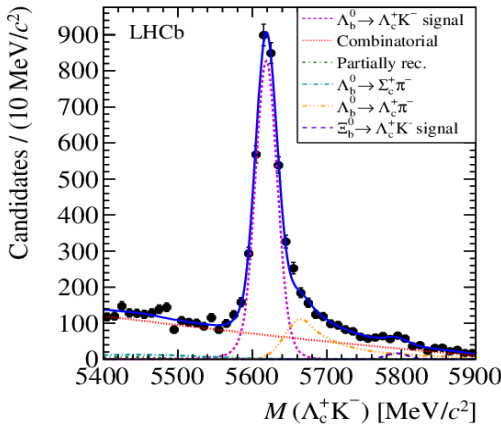


Рис. 1.12.3. Распределение инвариантных масс  $\Lambda_c K$ , демонстрирующее сигналы  $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ K^-$  и  $\Xi_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ K^-$ .

С полной доступной статистикой распадов  $\Lambda_b^0 \rightarrow Dp\pi$  и  $\Lambda_b^0 \rightarrow DpK$  начат амплитудный анализ, в результате которого можно будет идентифицировать промежуточные резонансные состояния, через которые происходят эти распады. Далиц-распределение распада  $\Lambda_b^0 \rightarrow Dp\pi$  приведено на рисунке 1.12.5. На распределении ясно видны промежуточные резонансы в канале  $Dp$  (возбужденные  $\Lambda_c^+$ -барионы) и  $p\pi$  (барионы  $N$  или  $\Delta$ ). Полный амплитудный анализ позволит установить массы, ширины и квантовые числа этих промежуточных состояний.

В 2013 году был проведен ряд исследований трехчастичных распадов  $B$ -мезонов с  $D$ -мезоном в конечном состоянии. Так, было выполнено измерение вероятностей распадов  $B_s^0 \rightarrow DK\pi$  и  $B^0 \rightarrow DK\pi$ . Распад  $B_s^0 \rightarrow DK\pi$  при этом был зарегистрирован впервые. В будущем эти распады также можно будет использовать для измерения угла  $\gamma$ .

С использованием конечного состояния  $B_s^0 \rightarrow D\pi\pi$  был выполнен поиск распада  $B_s^0 \rightarrow D^{*+}\pi^-$ . Этот распад интересен тем, что может происходить только за счет диаграммы с обменом  $W$ -бозона, за счет чего ожида-

ется сильно подавленным. Обнаружение (или необнаружение) этого распада дает важную информацию о механизме подобных распадов вида  $B_s^0 \rightarrow \pi\pi$  или  $B_s^0 \rightarrow DD$ , где может проявляться как  $W$ -обмен, так и перерасеяние пары кварков  $ss$  в  $cc$  (или  $dd$ ). В анализе не обнаружено значительного сигнала  $B_s^0 \rightarrow D^{*+}\pi^-$  и поставлен верхний предел на его вероятность, что позволяет заключить, что эффекты перерасеяния доминируют в распадах  $B_s^0 \rightarrow \pi\pi$  и  $B_s^0 \rightarrow DD$ .

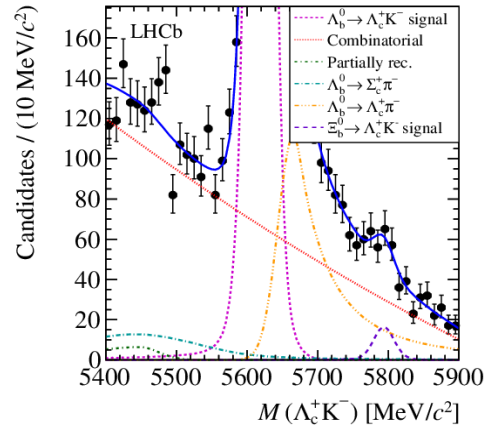


Рис. 1.12.4. То же, что и рисунок 1.12.3. Увеличенный фрагмент по оси  $Y$ , показывающий вклад  $\Xi_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ K^-$ .

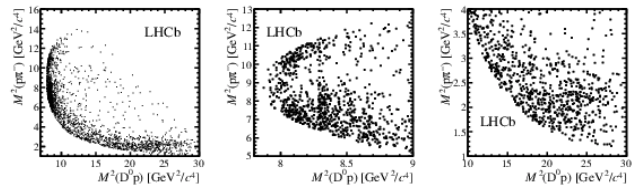


Рис. 1.12.5. Распределение Далица для распада  $\Lambda_b^0 \rightarrow Dp\pi$  (полный фазовый объем и две области с промежуточными резонансами).

Помимо вышеперечисленных экспериментальных работ, выполненных с участием сотрудников института, в 2013 году была выполнена и опубликована феноменологическая работа, посвященная исследованию влияния возможного  $CP$ -нарушения в распадах  $D$ -мезонов на измерение угла  $\gamma$  при помощи модельно-независимого анализа распадов  $B \rightarrow DK$ ,  $D \rightarrow K_s\pi\pi$ . Известно, что принципиальная теоретическая неопределенность измерения  $\gamma$  пренебрежимо мала (около  $10^{-7}$ ), и основную неопределенность, помимо чисто статистической, составляют различные модельные эффекты, такие как описание динамики распада  $D$ -мезона, смешивание или  $CP$ -нарушение в  $D$ -мезонах, а также экспериментальные статистические ошибки. Для устранения этих трудностей ранее был предложен модельно-независимый подход к измерению угла  $\gamma$ . В таком подходе все неизвестные величины, связанные в динамикой распада  $D$ , получают из независимых экспериментов с квантово-запутанными состояниями

D-мезонов в распадах  $\psi(3770) \rightarrow DD$ . Ранее было рассмотрено влияние смешивания D-мезонов на этот подход и было показано, что его вклад можно учесть, так что прецизионное измерение угла  $\gamma$  не оказывается ограниченным связанной с этим неопределенностью. В настоящей же работе установлено, что возможное прямое CP-нарушение в распадах D-мезонов также можно учесть небольшой модификацией модельно-независимой процедуры.

### Спектроскопия тяжелых адронов

Из работ в области спектроскопии тяжелых адронов уже был упомянут анализ  $\Lambda_b^0 \rightarrow DpK$  и  $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ K^-$ . В нем впервые наблюдались распады бариона  $\Xi_b^0$ , который ранее наблюдался только в одном конечном состоянии,  $\Xi_c^+ \pi^-$ .

На сегодняшний день данные, набранные детектором LHCb, содержат большое количество распадов  $\Lambda_b$ -барионов, которые можно использовать для исследования спектроскопии тяжелых барионов, содержащих b-кварк. В 2012 году группой сотрудников института был выполнен анализ спектра  $\Lambda_b \pi^+ \pi^-$ , в котором были открыты два возбужденных состояния  $\Lambda_b$ -бариона,  $\Lambda_b^*(5912)$  и  $\Lambda_b^*(5920)$ . Кварковая модель предсказывает, что эти состояния являются радиальными возбуждениями  $\Lambda_b$  со спином 1/2 и 3/2, соответственно. В 2013 году этот анализ был продолжен с использованием всей доступной статистики LHCb. Кроме упомянутого конечного состояния  $\Lambda_b \pi^+ \pi^-$ , были обнаружены радиационные переходы  $\Lambda_b^* \rightarrow \Lambda_b \gamma$ . Однако, из-за ограниченного энергетического разрешения в спектре  $\Lambda_b \gamma$  не удастся надежно разделить два состояния  $\Lambda_b^*(5912)$  и  $\Lambda_b^*(5920)$ . В данный момент выполняется оптимизация процедуры анализа с целью улучшения разрешающей способности в диапазоне масс  $\Lambda_b^* \rightarrow \Lambda_b \gamma$ . В 2014 году планируется опубликовать результаты исследования радиальных возбуждений  $\Lambda_b$  в конечных состояниях  $\Lambda_b \pi^+ \pi^-$  и  $\Lambda_b \gamma$  со статистикой 3 фб<sup>-1</sup>.

При исследовании распада  $V^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-$  была обнаружена широкая структура в спектре масс двух мюонов. Данный распад реализуется через древесные вклады (распад  $V^+$ -мезона на векторный чармония и  $K^+$  с последующим распадом чармония на пару мюонов) и вклады петлевых процессов, наводящихся нейтральными токами, меняющими аромат (FCNC). При поиске вкладов в FCNC-распады, выходящих за рамки Стандартной Модели, важно правильно учесть древесные вклады. Изучение спектра масс двух мюонов выявило широкую структуру, которая может возникнуть при интерференции распада с  $V^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-$  резонансом, и имеет статистическую значимость более 6 стандартных отклонений (рис. 1.12.6). Масса и ширина резонанса ( $4191^{+9}_{-8}$  МэВ и  $65^{+22}_{-16}$  МэВ) в пределах погрешностей согласуются со свойствами мезона  $\psi(4160)$ . Это первое наблюдение распадов  $V^+ \rightarrow K^+ \psi(4160)$ ,  $\psi(4160) \rightarrow \mu^+ \mu^-$ .

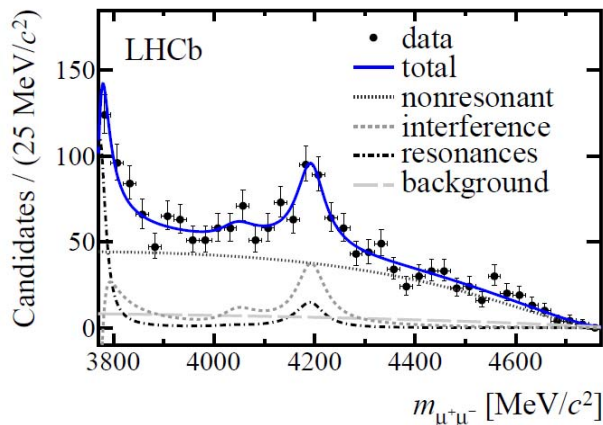


Рис. 1.12.6. Распределение инвариантной массы двух мюонов в распаде  $V^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-$ .

2

ЭЛЕКТРО- И ФОТОЯДЕРНАЯ  
ФИЗИКА





## 2.1. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ВНУТРЕННИМИ МИШЕНЯМИ

I. Учет вклада двухфотонного обмена (ДФО) в упругом рассеянии электрона на протоне, вероятно, объяснит противоречие в данных по измерению электромагнитных форм факторов протона, которые были получены с помощью различных экспериментальных методик. К настоящему времени в мире уже проведены три эксперимента по определению вклада ДФО в этом процессе. Это – эксперименты коллаборации OLYMPUS (DESY, Германия), коллаборации CLAS (TJNAF, США) а также эксперимент в ИЯФ СО РАН на накопительном кольце ВЭПП-3. Во всех трех случаях для определению вклада ДФО измерялось  $R$  – отношение сечений упругого рассеяния электрона/позитрона на протоне. В ИЯФ набор данных проводился при двух энергиях пучков электронов/позитронов – 1,6 ГэВ и 1,0 ГэВ. Набор данных завершился в 2012 год. В отчетном году проводился анализ данных эксперимента. Он включал в себя внесение различных поправок, а также анализ систематических ошибок. Для подавления систематических ошибок было важно обеспечить одинаковые условия при наборе данных, например, таких как одинаковое положение пучков электронов/позитронов, их энергий, уровней токов и так далее. Сеансы набора данных с электронными и позитронными пучками регулярно чередовались. Это позволило существенно подавить эффекты медленного дрейфа во времени толщины мишени, эффективности регистрации и некоторых других параметров. Наличие двух почти идентичных систем регистрации, расположенных по разные стороны пучка накопителя подавляло изменение их суммарного счета при малых смещения пучка накопителя. Пренебрежимо малые магнитные поля в районе детектора частиц снимали проблему равенства акцептанса детекторов частиц в случае рассеяния электронов/позитронов (эта большая проблема для OLYMPUS и CLAS). При анализе данных проверялось насколько хорошо удалось выполнить все эти условия и, при нарушении их, часть данных (примерно 5 %) была отбракована. Проведен учет вклада фоновых неупругих процессов в массив событий, выделенных первоначально, как события упругого рассеяния. Важным этапом анализа явился учет вклада радиационных поправок: он составляет значительную часть отклонения измеренной величины  $R$  от единицы. Работа по расчету радиационных поправок завершена, по ней подготовлена публикация.

Предварительные результаты измерения  $R$  в зависимости от величины  $\varepsilon$  (поляризация виртуального фотона), полученные в настоящем эксперименте приведены на рис. 2.1.1. Измерения с наибольшим значением  $\varepsilon$  использовались для норми-

ровки при обеих энергиях. Нормировочное значение было положено равным 1. В сеансе II данные были разделены на три интервала по  $\varepsilon$ . На рисунке приведены также результаты предыдущих экспериментов. Они имеют существенно большие погрешности. Линиями показаны некоторые теоретические предсказания для  $R$ . Отметим, что расчеты P. G. Blunden, et al. и D. Borisyuk and A. Kobushkin практически совпадают. Полученные в данной работе экспериментальные точки лежат примерно посредине между этой парой кривых и кривой работы J. C. Bernauer, et al. В последней работе найдены параметризации формфакторов протона, кулоновских поправок и вклада ДФО, которые хорошо описывают большой набор экспериментальных данных, включающих в себя результаты, как неполяризованных измерений (в этом случае использовались данные дифференциальных сечений), так и результаты поляризованных измерений (использовались измеренные отношения формфакторов). То есть в этом подходе снимается упомянутое выше противоречие между результатами по формфакторам протона, полученных методом Розенблюта и методом передачи поляризации. В расчетах P. G. Blunden, et al. также показано, что учет вклада ДФО устраняет это противоречие.

Окончательные результаты эксперимента будут получены в течение ближайших месяцев.

II. Когерентное фоторождение нейтрального пиона на дейтроне является важным процессом в ядерной физике, который дает ценную информацию о структуре дейтрона, пион-нуклонного и нуклон-нуклонного взаимодействий. Наличие всего двух частиц в конечном состоянии упрощает расчеты и позволяет делать более определенные предсказания, как об их взаимодействии, так и о промежуточных состояниях протон-нейтронной пары. В то время как теоретические исследования реакции проводятся давно (начиная с 70-х годов) подробные экспериментальные данные по дифференциальным сечениям появились сравнительно недавно. Что касается поляризованных наблюдаемых в этой реакции, то есть лишь несколько измерений сигма-асимметрии. Измерения тензорных анализирующих способностей реакции полностью отсутствовали до появления наших данных, которые были получены из статистического материала эксперимента по фотодезинтеграции дейтрона (Николенко Д. М. и др. Письма в ЖЭТФ 89, 518 (2009)). Точность этих измерений была невысока. В данном эксперименте точность измерения тензорной анализирующей способности реакции T20 будет улучшена в несколько раз, будут получены данные по дифференциальным сечениям. В мае-июле 2013 г. был проведен набор данных по когерентному рождению нейтрального пиона на тензорно-поляризованной

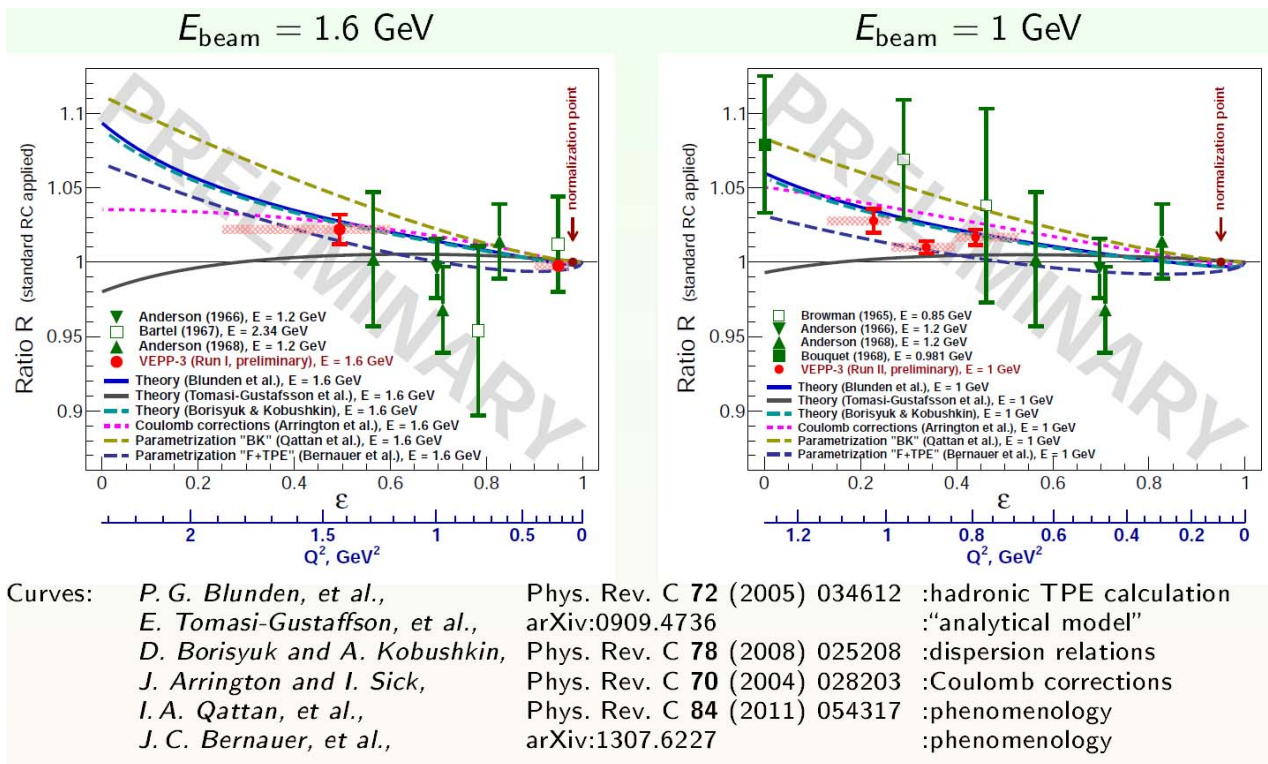


Рис. 2.1.1. Предварительные результаты эксперимента: отношение  $R$  в зависимости от  $\epsilon$ . Черные кружки — данные настоящего эксперимента.

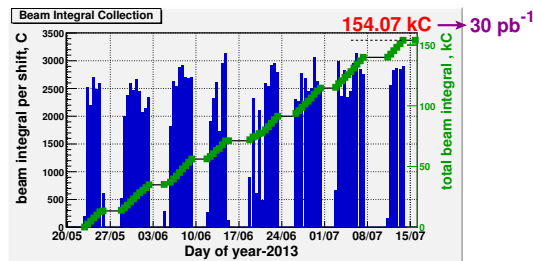


Рис. 2.1.2. Темп набора данных эксперимента по когерентному рождению нейтрального пиона на поляризованном дейтроне. В интервалах между наборами данных ВЭПП-3 работал по программам синхротронного излучения.

дейтронной мишени. Интегральный заряд, пересекший мишень за время набора данных, равен 154 кКулон (рис.2.1.2). Средняя величина тензорной поляризации мишени составила  $37,3 \pm 1,1 \%$ .

III. Продолжались работы с системой мечения квазиреальных фотонов (СМФ) на ВЭПП-3. СМФ существенно расширит возможности для изучения фотореакций на ВЭПП-3, позволит продвинуться до энергии фотонов  $1,5 \text{ GeV}$ . 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 дей-

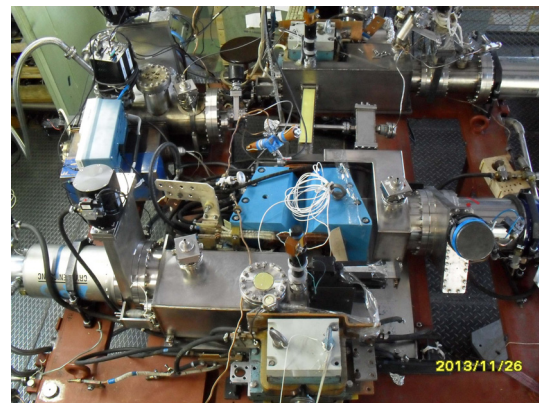


Рис. 2.1.3. Наладка системы мечения квазиреальных фотонов.

троне, можно распространить такие измерения и на нейтрон.

Летом 2013 года СМФ была впервые собрана (рис. 2.1.3) и, затем, установлена на накопителе ВЭПП-3. В сентябре с этой системой в накопителе были получены как электронный, так и позитронный пучки. Под нулевым углом из системы мечения были зарегистрированы спектры тормозного и аннигиляционного излучения.

IV. Продолжались работы по разработке источника поляризованных молекул изотопов водорода.

Были проведены расчеты по фокусировке молекул ортоводорода в секступольных магнитах имеющегося источника поляризованных атомов дейтерия. Эти расчеты показали, что при низкой температуре источника этих молекул, они могут быть значительно отклонены двумя сверхпроводящими магнитами второй группы. Источник молекул предлагается разместить на баке первой группы магнитов. Бак имеет температуру жидкого гелия, поэтому температуру источника молекул можно будет изменять в широких пределах, регулируя ее необходимым подводом тепла. Приемником поляризованных молекул будет являться трубка диаметром около 30 мм, установленная на расстоянии около 150 см от магнитов. Ее размер выбран таким образом, что без включения магнитного поля молекулы, вылетевшие из источника молекул, не могут в нее залететь. При включении магнитного поля на молекулы начинает действовать сила и молекулы с нужной проекцией спина фокусируются в трубку. По повышению давления в трубке можно оценить поток сфокусированных молекул. Конструкторская проработка источника и приемника молекул завершена, часть деталей изготовлена.

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



3

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ  
ФИЗИКА



## 3.1. КХД

«Уравнение эволюции для трехкварковой вильсоновской петли в следующем за главным приближении»

Я. Балицкий и А.В.Грабовский;  
Препринт ИЯФ 2013-25, 39 стр.

Получено уравнение эволюции для трехкварковой вильсоновской петли в следующем за главным приближении. Построен составной оператор для трехкварковой вильсоновской петли, подчиняющийся квазиконформному уравнению эволюции. Представлено линеаризованное квазиконформное уравнение эволюции.

«Уравнение эволюции для трехкварковой вильсоновской петли»

Р. Е. Герасимов и А. В. Грабовский  
ЖНЕР, 04, 102 (2013).

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

«О решении уравнения БФКЛ для рассеяния вперед в следующем за главным логарифмическом приближении»

А.В. Грабовский  
ЖНЕР, 09, 098 (2013)

Показано, что уравнение БФКЛ для рассеяния вперед в следующем за главным логарифмическом приближении может быть решено в пространстве собственных функций его борновского ядра.

«Связный вклад в уравнение эволюции для трехкварковой вильсоновской петли»

А.В. Грабовский  
ЖНЕР, 09, 141 (2013)

В рамках высокоэнергетического операторного разложения Я. Балицкого был вычислен связный вклад в уравнение эволюции для трехкварковой вильсоновской петли. Его  $S$ -нечетная часть была линеаризована и переведена в импульсное представление.

«Мультiredжевские амплитуды в неабелевых калибровочных теориях»

М. Г. Козлов  
Международная сессия-конференция секции ядерной физики 5-8 ноября. 2013 г.

В теориях Янга-Миллса достаточного общего вида было показано, что многочастичные амплитуды в мультiredжевской кинематике имеют

мульти-реджевскую форму в следующем за главным логарифмическом приближении.

«Мультiredжевские амплитуды в неабелевых калибровочных теориях»

М. Г. Козлов  
Nuclear physics and engineering, 4, 853 (2013).

В суперсимметричных теориях Янга-Миллса в следующем за борновским порядке найдены эффективные реджевские вершины, необходимые для построения доказательства мультiredжевской формы амплитуд с глюонным обменом в рамках бутстрапного подхода. Для произвольной размерности  $D$  найден однопетлевой вклад скаляров в импакт фактор рождения глюона. Вычислены вклады скалярных частиц в собственные функции октетного состояния, а также все дополнительные возникающие импакт факторы, проведена проверка выполнения всех упругих и неупругих условий бутстрапа, гарантирующая мультiredжевскую форму многочастичных амплитуд в приближении, следующим за главным логарифмическим.

«Мультiredжевская форма амплитуд с глюонным обменом в суперсимметричных теориях Янга-Миллса»

М. Г. Козлов, А. В. Резниченко, В.С. Фадин  
Препринт BINP 2012-32,  
(опубликован в августе 2013), стр. 1-50.

В суперсимметричных теориях Янга-Миллса найдены все эффективные вершины взаимодействия реджезованных глюонов с частицами как для главного логарифмического приближения, так и для следующего за ним. Вычислены вклады скаляров в собственную функцию ядра для присоединенного представления калибровочной группы и в импакт-факторы, аналогичные имеющимся в квантовой хромодинамике, а также все дополнительные возникающие импакт-факторы, проверено выполнение всех условий бутстрапа, гарантирующие мультiredжевскую форму многочастичных амплитуд. Развита метод проверки соотношений бутстрапа без вычисления явного вида вершин и импакт-факторов. С его помощью доказано выполнение условий бутстрапа в теориях с любым числом фермионов и скалярных частиц, преобразующихся по любым представлениям цветовой группы, и с любым взаимодействием Юкавовского типа между ними.

«Декаплинг в КЭД и КХД»

А.Г. Грозин  
Int. J. Mod. Phys. A 28, 1350015 (2013).

Декаплинг тяжелого аромата в КХД обсуждается педагогическим образом. Сначала рассмотрен более простой случай декаплинга мюонов в КЭД.

Все расчеты явно сделаны до двух петель.

«КХД амплитуды с глюонным обменом  
при высоких энергиях»  
А. В. Резниченко

Nuclear physics and engineering, vol. 4, 857 (2013)

Работа посвящена обоснованию в следующем за главным логарифмическим приближении гипотезы о мультиреджевской форме вещественной части многочастичной амплитуды с глюонным обменом при высоких энергиях. Доказательство гипотезы строится на анализе соотношений, вытекающих из требования совместимости мультиреджевской формы амплитуды с условием s-канальной унитарности, и сводится к проверке так называемых условий бутстрапа, представляющих собой нелинейные связи между реджевскими вершинами и траекторией глюона. Основная вычислительная задача заключается в непосредственной проверке данных условий исходя из явного вида реджевских вершин и траектории глюона. Главное внимание в работе уделяется наиболее сложному, последнему из непроверенных условий бутстрапа - условия бутстрапа для рождения одного глюона в мультиреджевской кинематике. Вычисление двух его главных составляющих - импакт-фактора и матричного элемента оператора рождения глюона - позволяет осуществить проверку бутстрапа и завершить доказательство гипотезы. Также в статье получены некоторые оригинальные математические соотношения для дилогарифмической функции.

«Спектры масс в  $\mathcal{M}=1$  суперсимметричной КХД  
с дополнительными полями. III»

В.Л. Черняк

arXiv: 1308.5863 [hep-th], pp. 1-23

Эта работа продолжает предыдущие статьи автора на эту тему: arXiv: 1205.0410 и 1211.1487 [hep-th]. Мы также рассматриваем здесь  $\mathcal{M}=1$  суперсимметричные КХД-подобные теории (и их дуальные варианты Seiberg) с  $N_c$  цветами и  $N_F$  ароматами легких кварков и с  $N_{F2}$  дополнительными бесцветными полями  $\Phi$ , но теперь с  $N_F$  в новом интервале  $2N_c < N_F < 3N_c$ . Найдены множества различных вакуумов и величины конденсатов кварков и глюонов в этих вакуумах. Вычислены спектры масс прямых и дуальных теорий в различных вакуумах, в рамках динамического сценария, предполагающего, что кварки в таких  $\mathcal{M}=1$  суперсимметричных КХД-подобных теориях могут находиться только в двух стандартных фазах. Это или фаза тяжелого кварка, в которой имеется конфайнмент цвета, или фаза Higgs, в которой кварки конденсируются. Кроме того, этот сценарий предполагает, что, в отличие от  $\mathcal{M}=2$  суперсимметричной КХД, в этих  $\mathcal{M}=1$  суперсимметричных КХД-подобных теориях без цветных скалярных

суперполей в присоединенном представлении  $SU(N_c)$  не появляются дополнительные параметрически легкие солитоны типа магнитных моно-полей или дионов. Показано, что спектры масс прямых и дуальных теорий отличаются параметрически, так, что эти теории не эквивалентны. Кроме того, вычислен спектр масс в дуальной теории с  $N_c = N_F - N_c$  цветами и  $N_{c+1} < N_F < 3N_{c/2}$  ароматами дуальных кварков. И наконец, спектр масс прямой  $N=2$  суперсимметричной КХД с  $N_c$  цветами,  $N_{c+1} < N_F < 3N_{c/2}$  ароматами кварков с массовым членом  $m \text{Tr}(\not{A})$  в суперпотенциале, нарушенной до  $N=1$  массовым членом  $\mu_x X^2$  цветного скалярного суперполя  $X$  в присоединенном представлении  $SU(N_c)$ ,  $m \text{Tr} \mathcal{M}_x \mathcal{A}_2$ , вычислен в вакуумах барионной ветви. В этих же вакуумах были вычислены спектры масс в двух различных вариантах дуальных теорий Seiberg. Результаты данной работы отличаются от полученных недавно в статье arXiv:1304.0822 [hep-th] М. Шифмана и А. Юнга.

«Введение в эффективные теории поля.

3. Блоха-Нордсика эффективная теория»

А.Г. Грозин

HQET ArXiv: 1305.4245

Работа является продолжением цикла лекций.

В этой части мы обсудим взаимодействие электронов с мягкими фотонами в КЭД и тяжелых кварков в эффективной теории (HQET).

«Эффективные слабые лагранжианы в  
Стандартной модели и В распады»

А.Г. Грозин

ArXiv: 1311.0550

Слабые процессы (например, В распады) с характерными энергиями много меньше массы  $W$  могут быть описаны в эффективной теории, которая не содержит  $W$ ,  $Z$  и других тяжелых частиц (Хиггса,  $t$ ). Лагранжиан содержит операторы четырехфермионного взаимодействия. По сути, это теория, предложенная Ферми и улучшенная Фейнманом, Гелл-Манном, Маршаком, Сударшаном.

«Введение в Математику для физиков»

А.Г. Грозин

Учебники для магистрантов по физике,

Springer (2013), 219 страниц

ISBN 978-3-319-00893-6; электронная книга ISBN 978-3-319-00894-3

Математика является наиболее широко используемой системой для выполнения математических расчетов на компьютере, в том числе символических и численных расчетов и графиков. Она используется в физике и других отраслях науки, в области математики, образования и многих других областях.



Многие важные результаты в области физики никогда не будут получены без широкого использования компьютерной алгебры.

Эта книга описывает идеи компьютерной алгебры на языке системы Математика. Она также содержит ряд примеров, в основном из физики, и из математики и химии. После прочтения этой книги и решения задач в ней, читатель сможет использовать Математику эффективно для решения своих собственных задач.

### 3.2. ТЕОРИЯ ХАОСА

«Синхронизационная теория индуцированных полей свч состояний с нулевым сопротивлением»  
О.В. Жиров, Д.Л. Шепелянский  
Physical Review B 88, 035410 (2013)

Построена синхронизационная теория динамики двумерных электронов в перпендикулярном магнитном поле в присутствии свч-излучения.

Показано, что диссипативные эффекты могут приводить к синхронизации циклотронной фазы с фазой поля свч при определенных соотношениях циклотронной частоты и частоты поля свч. Продемонстрировано два важных следствия этого эффекта: стабилизация орбит, бегущих вдоль края образца, и захват электронов локальными микроскопическими примесями.

Обсуждается влияние этих эффектов на транспортные свойства двумерного электронного газа со сверхвысокой подвижностью зарядов, и предлагаются механизмы, приводящие к формированию состояний с нулевым сопротивлением. Наш теоретический анализ показывает, что динамика классических электронов вдоль края образца и вокруг циркулярных неоднородностей хорошо описывается стандартным отображением Чирикова, обеспечивающим единый формализм для таких достаточно различных случаев. Мы надеемся, что данная работа даст основу для развития квантовой синхронизационной теории состояний с нулевым сопротивлением, детальное микроскопическое описание которых пока еще находится в стадии развития.

«Термоэдс кристалла Вигнера, помещенного в периодический потенциал»  
О.В. Жиров, Д.Л. Шепелянский  
EPL (Europhysics Letters) 103, 68008 (2013)

Исследована численно генерация термоэлектричества в классическом электронном кристалле Вигнера, помещенном в периодический потенциал и термостат, моделируемый методом Ланжевена. При низких температурах в этой системе имеются фазы скольжения и прилипания, с фазовым

переходом Абри между ними. Нами показано, что в фазе прилипания (в фазе Абри) безразмерный коэффициент Сибека может достигать очень высоких значений, порядка нескольких сотен. В то же самое время в этой фазе электрическая и тепловая проводимость кристалла значительно падает. Тем не менее, наибольшие значения фактора  $ZT$  найдены именно в фазе Абри и в изученном диапазоне параметров нами достигнуто  $ZT \leq 4.5$ . Мы ожидаем, что данный механизм может обеспечить оптимальный режим для достижения высоких значений  $ZT$  и в реалистических системах генерации термоэлектричества. Обсуждаются также возможные экспериментальные реализации данной модели.

«Фактор упругого усиления как индикатор степени хаотичности»  
Я.А. Харьков, В.В. Соколов  
Phys. Lett. B 718, 1562 (2013)

Недавнее развитие теории резонансных реакций с переходной от регулярной к хаотической динамикой промежуточной системы спровоцировало новый всплеск интереса к явлению статистического усиления упругих процессов по сравнению с неупругими. Наше исследование отвечает на вопрос, как и что именно экспериментально измеряемая величина фактора упругого усиления может сообщить нам о характере динамики промежуточной возбужденной системы. Указав на неизвестную ранее примечательную связь фактора усиления с флуктуациями времени задержки в случае полностью хаотической внутренней динамики, мы доказываем затем, что это соотношение остается справедливым и в случае произвольной степени её хаотичности. Это сводит всю проблему к вычислению бинарного форм-фактора Дайсона как функции параметра, фиксирующего степень внутренней хаотичности. Зная эту зависимость явно, мы получаем возможность судить о величине параметра хаотичности исходя из экспериментального значения фактора усиления. Полное аналитическое рассмотрение оказалось возможным в случае систем с отсутствием инвариантности по отношению к обращению времени. Нет однако сомнения, что качественно сходная ситуация имеет место и в случае Т-инвариантных систем.

«Хаотическая интерференция и принцип соответствия Бора: механизмы разрушения когерентности, и смешанные состояния»  
В.В. Соколов, О.В. Жиров  
arXiv:1311.1953 [quant-ph].

Знаменитый принцип соответствия Бора утверждает, что классическая механика является некоторым предельным случаем более общей квантовой механики. Это означает, что "при определённых условиях" квантовые законы движения становятся эквивалентными клас-

сическим. Одно из таких условий вполне очевидно: величина соответствующего классического действия должна быть очень велика по сравнению с планковским квантом действия  $\hbar$ . Этого, однако, не достаточно. Подавление всех эффектов квантовой когерентности, являющееся условием перво-степенной важности, не происходит автоматически при таком, даже как угодно малом, но конечном значении параметра квазиклассичности. Являясь, по-существу, совершенно общей, эта проблема приобретает особое значение в весьма общем случае нелинейных систем с хаотической классической динамикой. В то время как быстрый распад фазовых корреляций является фундамен-тальным свойством классического динамического хаоса, так называемый "квантовый хаос" сам по себе не в состоянии разрушить квантовую фазовую когерентность. Строго говоря, любое "чистое" начальное состояние остаётся чистым в течение произвольно долгой унитарной (описываемой эрмитовым гамильтонианом) эволюции. Норми-рование некогерентных "смешанных" состояний происходит только либо в процессе приготовления начального состояния, либо в результате взаимодействия с неупорядоченной внешней средой (шумом). Именно такое разрушение когерентности устанавливает мост между квантовым и классическим мирами. Мы детально анализируем особенности временной эволюции, а также информационной и корреляционной энтропий Шеннона и фон Неймана. В частности, мы демонстрируем как проявляется разрушение квантовой когерентности в экспериментах с периодически возмущаемыми системами ионных ловушек. Наконец, мы описываем обусловленные взаимодействием с неупорядоченной внешней средой эффекты разрушения квантовой когерентности при баллистическом транспорте электронов через двумерные мезоскопические структуры.

### 3.3. ФЭЧ

«Кинетика поляризации в нерелятивистском рассеянии»

А.И. Мильштейн, С.Г. Сальников

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research  
B 313, 64 (2013)

Развит подход, который существенно упрощает вывод кинетического уравнения для поляризации в нерелятивистском рассеянии. Этот подход применим для столкновения пучка частиц с мишенью для любых спинов сталкивающихся частиц. Наиболее детальное рассмотрение осуществляется в случае спина 1/2 пучка частиц, взаимодействующих со спином 1/2 частиц мишени. Представлено решение кинетического уравнения для случая нулевой начальной поляризации .

«Доминантность изоскалярной амплитуды в  $e^+e^-$  аннигиляции в нуклон-антинуклонную пару вблизи порога реакции»

В.Ф. Дмитриев, А.И. Мильштейн, С.Г. Сальников  
arXiv: 1307.0936 [hep-ph]

Мы используем нуклон-антинуклонный оптический Парижский потенциал для объяснения экспериментальных данных в процессе  $e^+e^- \rightarrow$  протон-антипротон вблизи порога. Получается, что взаимодействие в конечном состоянии, соответствующее Парижскому оптическому потенциалу, позволяет воспроизводить имеющиеся экспериментальные данные. Как следует из нашего рассмотрения, изоскалярный формфактор гораздо больше, чем изовекторной.

«Четырехпетлевые поправки с двумя фермионными петлями к собственной энергии фермиона и к лептонному аномальному магнитному моменту»

Р. Ли, П. Марквард, А. В. Смирнов,  
В.А. Смирнов, М. Стеинхаузер

Journal of High Energy Physics, 162, 1303 (2013)

Мы вычисляем фермионные поправки восьмого порядка, содержащие две и три замкнутые безмассовые фермионные петли к аномальному моменту мюона. Необходимые четырехпетлевые интегралы классифицированы, а для мастер-интегралов получены явные аналитические результаты. В качестве дальнейших приложений, вычисляются соответствующие четырехпетлевые хромодинамические поправки к константам перенормировки массы и волновой функции массивного кварка в оншелл схеме.

«Критические точки и число мастер-интегралов»

Р.Ли, А. Померанский

Journal of High Energy Physics, 1311, 165 (2013)

Мы исследуем вопрос о числе мастер-интегралов для многопетлевой фейнмановской диаграммы. Показано, что для заданного набора знаменателей это число полностью определяется критическими точками полиномов, входящих в одно из двух представлений: параметрическое представление и представление Байкова. В частности, для параметрического представления соответствующий полином - просто сумма полиномов Симанзика. Соответствующий топологический инвариант - сумма чисел Милнора собственных критических точек. Представлен пакет Mint для системы Математика, автоматизирующий алгоритм определения числа мастер-интегралов.

«LiteRed 1.4: мощный инструмент для приведения  
многопетлевых интегралов»  
Р.Н. Ли  
arXiv: 1310.1145

Описываются новые возможности пакета LiteRed  
версии 1.4.

### 3.4. ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ

«Представление первого порядка для гравитации в  
формулировке Фаддеева»  
В. М. Хацимовский  
Class.Quant.Grav., v.30, p. 095006, (2013)

Мы изучаем формулировку Фаддеева гравитации, в которой метрика составлена из десяти четырёхмерных векторных полей, то есть, из десятимерной тетрады. Действие Фаддеева может быть сведено к действию Гильберта-Эйнштейна с помощью уравнений движения. Мы предлагаем представление гравитации Фаддеева в терминах связности, аналог формы Картана-Вейля в гравитации Эйнштейна. Теперь мы вводим  $SO(10)$ -связность. Исключая эту связность посредством уравнений движения, получаем действие Фаддеева. Вдобавок к этому, мы вводим аналог параметра Барbero-Иммирци, используемого для обобщения формы Картана-Вейля в гравитации Эйнштейна. Теперь мы предлагаем некоторое однопараметрическое обобщение представления действия Фаддеева с помощью связности, которое при исключении связности приводит к некоторому однопараметрическому обобщению самого действия Фаддеева, которое при использовании уравнений движения сводится к действию Гильберта-Эйнштейна.

«О гравитации Фаддеева  
на кусочно-плоском многообразии»  
В. М. Хацимовский  
arXiv:1312.7116[gr-qc], pp. 1-10, (2013)

Мы изучаем формулировку Фаддеева гравитации, в которой метрика составлена из векторных полей. Эта система сводится на уравнениях движения к общей теории относительности (ОТО). Действие Фаддеева вычислено для кусочно-плоского анзаца, когда векторные поля дают метрику, описывающую плоскую геометрию внутри 4-мерных симплексов общего симплицеального комплекса. Тем самым получен аналог действия Редже в ОТО. Особенность гравитации Фаддеева - это конечность действия на разрывных полях, и это означает априори независимость полей в разных 4-симплексах и несовпадение 4-симплексов на их общих гранях. Учтён ранее введённый

аналог параметра Барbero-Иммирци для гравитации Фаддеева. Имеется некоторая свобода в определении действия Фаддеева на кусочно-плоском многообразии, и поставлена задача использования этой свободы для достижения того, чтобы это дискретное действие сводилось с помощью дискретных же уравнений движения к аналогичному дискретному действию в ОТО (действию Редже).

«Гравитационное четырехфермионное  
взаимодействие в ранней Вселенной»  
А.С. Руденко, И.Б. Хриплович  
УФН т.184, N 2 (2014); JCAP 11, 040 (2012)

Если кручение существует, оно порождает гравитационное четырехфермионное взаимодействие, проявляющееся на планковском масштабе. Исследуется влияние этого взаимодействия на космологию Фридмана-Леметра-Робертсона-Уокера. Получено явное аналитическое решение задачи, где учитываются как тензор энергии-импульса, генерируемый ГЧФВ, так и обычный ультрарелятивистский тензор энергии импульса. Показано, что гравитационное четырехфермионное взаимодействие не приводит к Большому отскоку.



4

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И  
УПРАВЛЯЕМЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ  
СИНТЕЗ



#### 4.1. ЭЦР НАГРЕВ ПЛАЗМЫ В ГДЛ

На установке газодинамическая ловушка (ГДЛ) введена в строй система электронного циклотронного резонансного (ЭЦР) нагрева плазмы (рис. 4.1.1).

В качестве источника излучения используются два гиротрона Буран-А, произведённые в ИПФ РАН. Мощность гиротронов составляет 450 кВт, длительность импульса до 100 мс и частота излучения 54,5 ГГц. Для них были разработаны и созданы две системы питания, выдающие импульс напряжения 70 кВ, током 25 А и длительностью до 5 мс со стабильностью выходного напряжения 1%. Каждый гиротрон оснащён своей линией передачи, которая состоит из квазиоптического фильтра, волноводной линии, двух поворотных уголков, универсального поляризатора и квазиоптической системы ввода излучения в плазму. Квазиоптический фильтр служит для согласования выходной моды гиротрона с основной модой гофрированного волновода HE<sub>11</sub>. Он состоит из двух зеркал со специально рассчитанным под конкретный гиротрон профилем. Волноводная линия состоит из отдельных гофрированных волноводов длиной 0,5 м, соединённых муфтами. Поворотный уголок представляет собой плоское зеркало под 45 градусов. Универсальный поляризатор позволяет получить из входной линейной поляризации любую необходимую эллиптическую поляризацию. Система ввода излучения в плазму состоит из одного плоского и двух параболических зеркал. Она фокусирует и направляет излучение в

нужную точку плазмы. Вакуумное окно выполнено из кварца. Излучение вводится в околопробочную область ГДЛ под углом 36 градусов к оси установки. Каждая линия вводит излучение вблизи своей магнитной пробки ГДЛ. Потери СВЧ-мощности на транспортировку в обоих трактах составили ~ 10%. Большая часть устройств и параметров гиротронного комплекса управляется и контролируется дистанционно при помощи созданной автоматизированной системы управления.

Стандартная магнитная конфигурация ГДЛ оказалась неподходящей для выбранной схемы ЭЦР нагрева по причине слишком большого требуемого напряжения зарядки конденсаторной батареи магнитной системы ГДЛ и возникновения паразитного ЭЦР на периферии плазмы, от которого происходит отражение излучения (рис.4.1.2). С целью решения этих проблем магнитная конфигурация была изменена. При этом положение основного ЭЦР резонанса остаётся неизменным, паразитный резонанс смещается к стенке вакуумной камеры, где плотность плазмы значительно ниже. Напряжение зарядки конденсаторных батарей остаётся в допустимых пределах. Энергетика ГДЛ позволила нам создать благоприятную магнитную конфигурацию для ЭЦР нагрева только с одного конца установки. По этой причине все эксперименты проводились только с одним гиротроном. Разработан новый вариант переконфигурации магнитной системы, который позволит использовать для нагрева плазмы оба гиротрона.

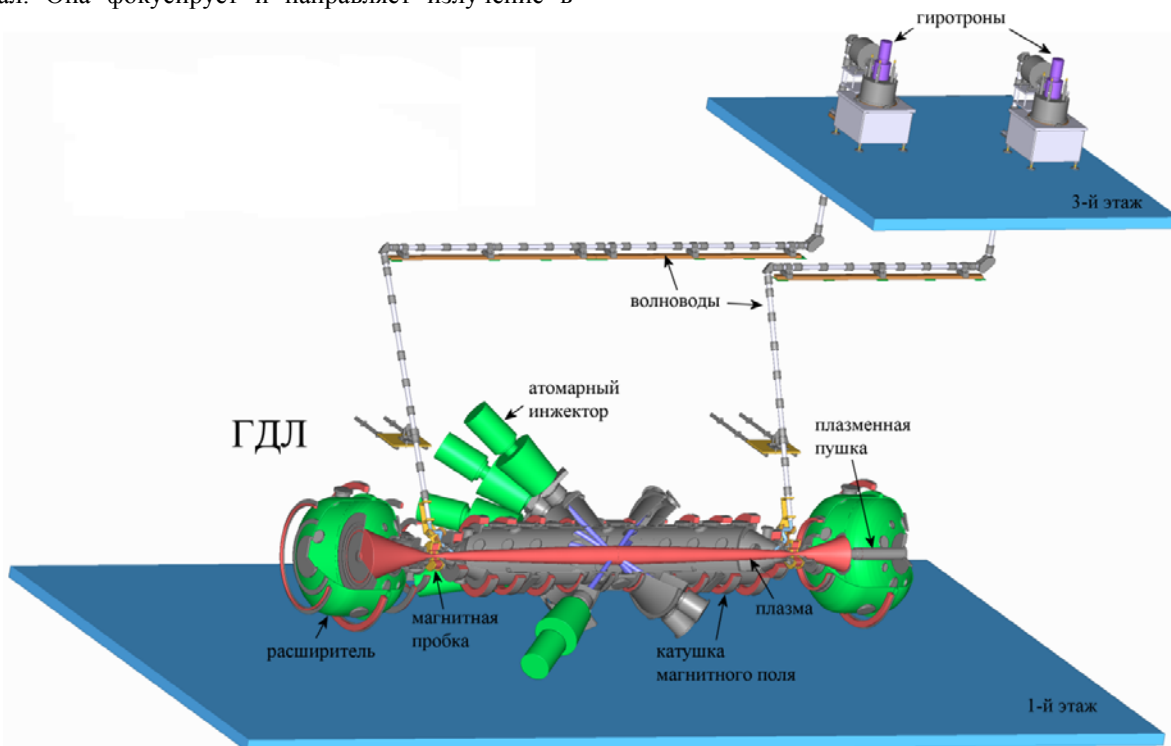


Рис. 4.1.1. Система ЭЦР нагрева плазмы в ГДЛ.

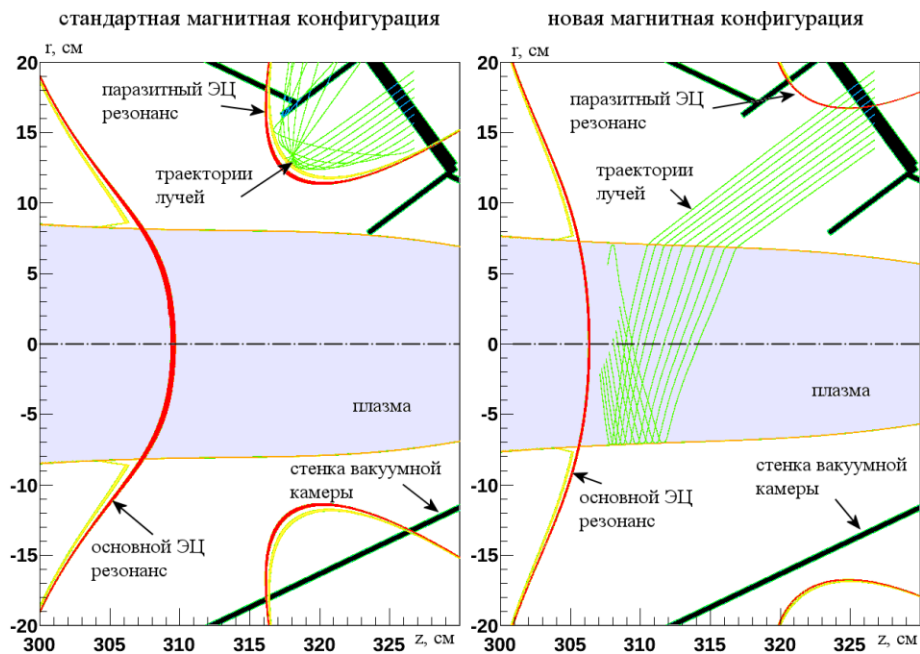


Рис. 4.1.2. Траектории лучей в стандартной и новой магнитной конфигурации ГДЛ.

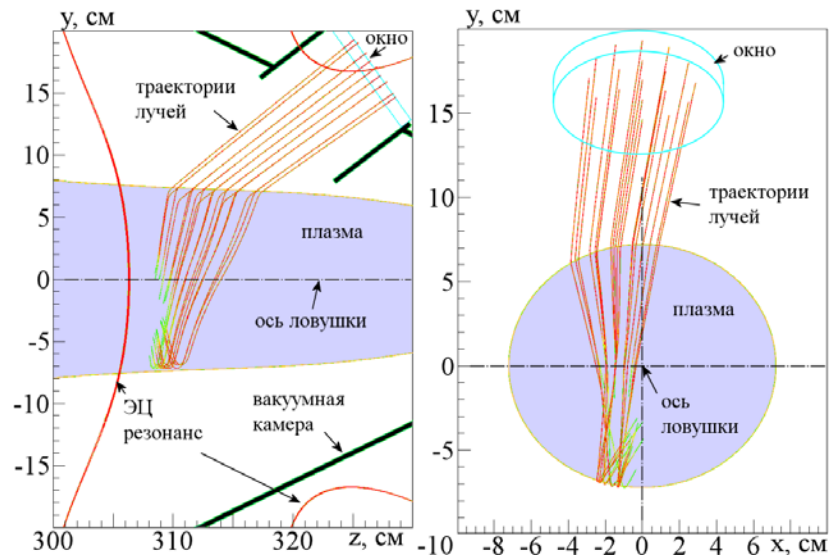


Рис. 4.1.3. Траектории лучей в плазме ГДЛ.

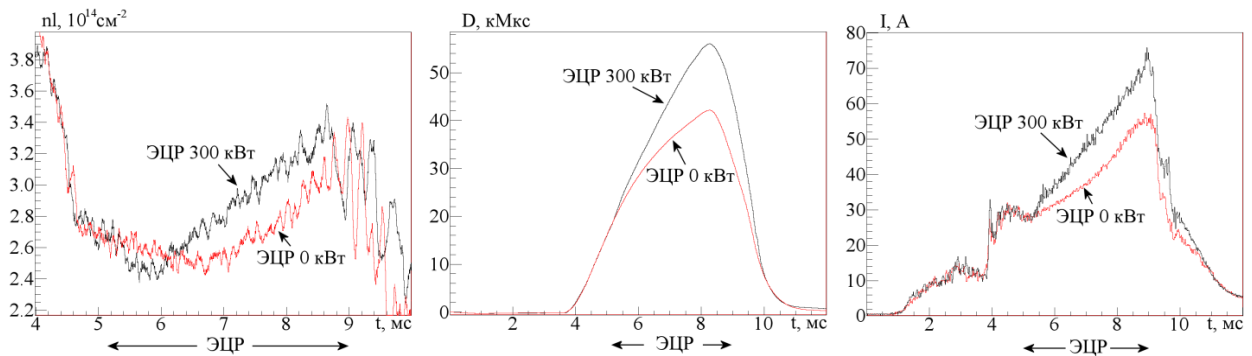


Рис. 4.1.4. Линейная плотность плазмы, диамагнетизм плазмы и продольный ток ионов.



Для подбора оптимальной конфигурации магнитного поля ГДЛ и параметров эксперимента был разработан численный 3D код для расчёта траектории волны и локализации поглощения в плазме ГДЛ. Траектория волны считается в приближении геометрической оптики, а коэффициент поглощения рассчитывается с помощью численного решения дисперсионного уравнения для бесстолкновительной тёплой максвелловской плазмы с неподвижными ионами (рис. 4.1.3).

При инжекции СВЧ излучения мощностью ~ 300 кВт в плазму через 1 мс после начала атомарной инжекции наблюдается рост интегральных параметров плазмы, таких как диамагнетизм

(энергосодержание) плазмы и ток ионов, покидающих ловушку через пробку (рис. 4.1.4). При этом плотность плазмы практически не меняется. Это свидетельствует о росте электронной температуры плазмы вследствие ЭЦР нагрева плазмы.

С помощью системы Томсонновского рассеяния было измерено распределение плотности и температуры плазмы в выстрелах с ЭЦР нагревом и без него через 2,5 мс после начала инжекции СВЧ (рис. 4.1.5). Отчётливо видно увеличение температуры плазмы при ЭЦР нагреве. Вне осевой нагрев объясняется смещением центра луча относительно центра плазмы.

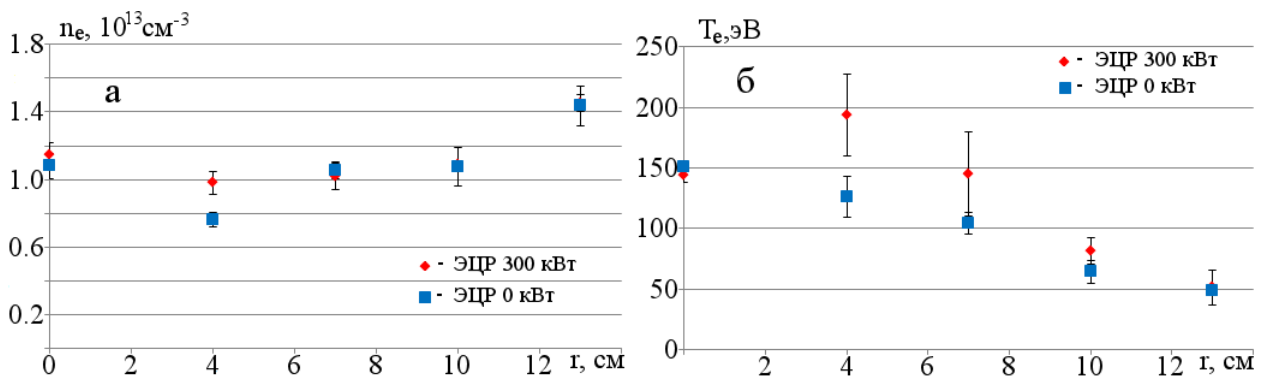


Рис. 4.1.5. Распределение плотности и электронной температуры плазмы.

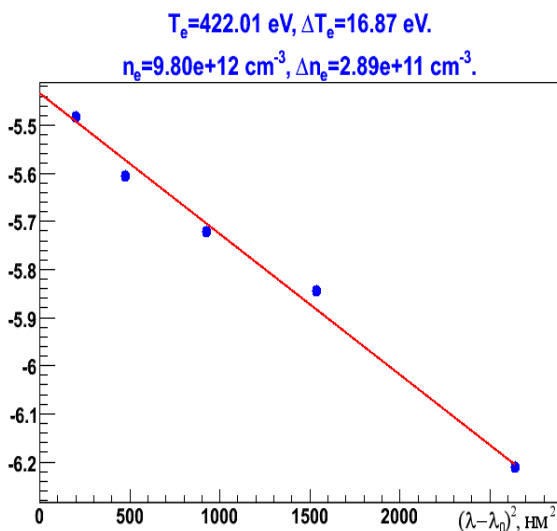


Рис. 4.1.6. Спектр рассеяния излучения лазера на электронах плазмы.

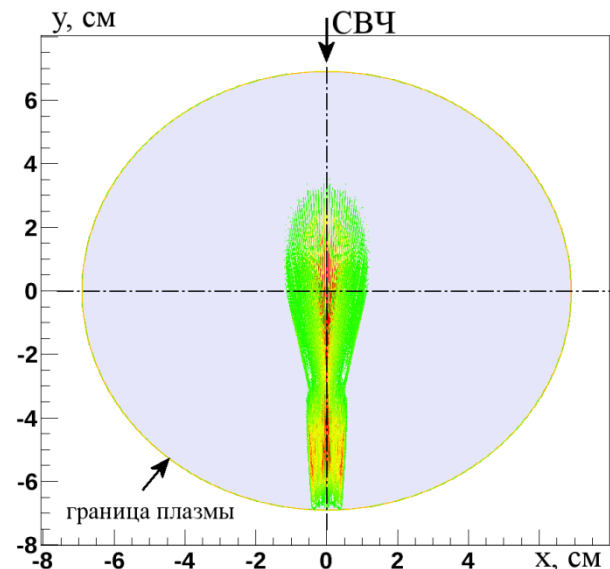


Рис. 4.1.7. Распределение поглощения СВЧ излучения в плазме ГДЛ.

При увеличении мощности ЭЦР нагрева до 400 кВт, настройки центра луча на ось плазмы и смещении начала инжекции СВЧ в 3 мс после начала атомарной инжекции была достигнута рекордная для ГДЛ электронная температура плазмы больше 400 эВ (рис.4.1.6). Эта температура была измерена в центре плазмы с помощью Томсоновского рассеяния через 0,4 мс после начала ЭЦР нагрева. Эта температура превышает оценку для максимально достижимой температуры плазмы (350 эВ) при поглощении 900 кВт СВЧ мощности в плазме, сделанную на этапе

проектирования системы ЭЦР нагрева. Это свидетельствует о локальности нагрева плазмы. Эту гипотезу подтверждает численный расчёт распределения поглощения СВЧ по сечению плазмы (рис.4.1.7) и наблюдаемый большой разброс измеряемых температур между разными выстрелами ГДЛ при неизменности интегральных параметров плазмы. Достигнутая электронная температура плазмы является рекордной для квазистационарных открытых ловушек.

## 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. ГОЛ-3 отличается от других установок с высокотемпературной плазмой тем, что плазма в установке нагревается мощным электронным пучком. В зависимости от научной задачи, для этой цели может использоваться один из двух имеющихся источников электронного пучка, обладающих значительно отличающимися параметрами. Более высокие параметры плазмы достигаются при использовании сильнооточного релятивистского электронного пучка, имеющего мощность масштаба 20 ГВт при длительности около 10 мкс. Физика более длительных процессов исследуется с использованием слаборелятивистского электронного пучка субмиллисекундной длительности с мощностью до 25 МВт.

Научная программа 2013 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 направ-

лением стали эксперименты с длинноимпульсным электронным пучком 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 2013 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 при работе с релятивистским электронным пучком. В другой конфигурации эксперимента вместо выходного плазмоприёмника монтируется источник слаборелятивистского электронного пучка.

Типичный сценарий эксперимента в стандартной конфигурации ГОЛ-3 выглядит следующим образом.



Рис. 4.2.1. Фотография установки ГОЛ-3.

Требуемое распределение плотности водорода или дейтерия по длине создаётся при помощи нескольких импульсных клапанов. Производится включение магнитной системы установки, электрическое питание которой осуществляется от конденсаторной батареи с суммарным энергозапасом до 15 МДж. Далее с помощью специального продольного разряда создается низкотемпературная предварительная плазма со средней по длине плотностью, которая может варьироваться в диапазоне  $(1 - 30) \times 10^{20} \text{ м}^{-3}$ . Затем в плазму инжектируется релятивистский электронный пучок, 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  $2 \div 3 \text{ кэВ}$  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 экспериментах со слаборелятивистским электронным пучком предварительная плазмы не создавалась, инжекция пучка велась непосредственно в газобразный дейтерий. 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. Параметры пучка могут варьироваться в широких пределах: энергия электронов 20 – 120 кэВ, ток пучка 15 – 250 А, мощность 1 – 25 МВт и длительность 30 – 600 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. Данное направление исследований предполагает принципиальную возможность работы со стационарной инжекцией электронного пучка, поэтому потребовалось создание источника электронного пучка, способного работать в налетающем плазменном потоке, а также пригодного для магнитной компрессии минимум в 100 раз по плотности тока для того, чтобы получить в ловушке приемлемое отношение плотности электронов пучка к плотности плазмы.

#### 4.2.2. Поляризация субтерагерцового излучения плазмы при инжекции 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 2013 году на установке ГОЛ-3 продолжились изучение механизмов генерации электромагнитного излучения в субтерагерцовом диапазоне во время релаксации релятивистского электронного пучка в плазме. Ранее в экспериментах были найдены режимы работы ГОЛ-3, в которых излучение лежало в заданном спектральном интервале.

В экспериментах с мощным релятивистским электронным пучком изучались спектральные свойства электромагнитного излучения в области частот до 0,5 ТГц при следующих параметрах:  $n_e = 3,7 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ ,  $E \approx 0,5 \text{ МэВ}$ ,  $I = 20 \text{ кА}$ . Спектр излучения анализировался с помощью восьмиканального полихроматора. Перед полихроматором устанавливался поляризационный фильтр, выделяющий параллельную или перпендикулярную составляющую электрического поля волны. Результат измерения поляризационных свойств излучения, полученный усреднением по 10 выстрелам, показан на рисунке 4.2.2.

В спектре эмиссии излучения из плазмы отчетливо выделяются три локальных максимума интенсивности. Первый находится в диапазоне 100–150 ГГц и соответствует циклотронному излучению электронов плазмы. Два других локальных максимума интенсивности лежат в районе частот 170 ГГц и 340 ГГц. Эти значения частоты совпадают с плазменной частотой  $f_p = (n_e e^2 / \pi m_e)^{0,5} = 175 \text{ ГГц}$ , а также с её второй гармоникой.

Для детального изучения поведения поляризации электромагнитного излучения в течение инжекции электронного пучка в плазму использовался радиометрический поляриметр, состоящий из двух одинаковых детекторов, измеряющих ортогональные поляризации излучения. Анализ излучения в выделенном частотном диапазоне проводился при помощи квазиоптического полосового фильтра, располагавшегося перед поляриметром. Результат измерения поляризации в двух областях (вблизи 190 ГГц и 315 ГГц) показан на рисунке 4.2.3.

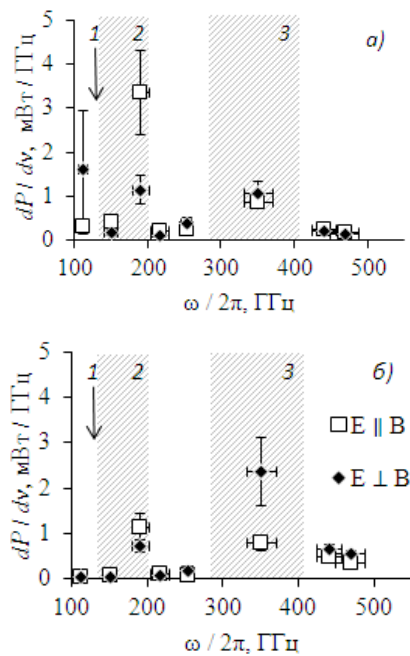


Рис. 4.2.2. Усреднённый спектр двух компонент поляризации излучения, эмитируемого плазмой в ходе пучково-плазменного взаимодействия:

а) момент времени  $t = 0,5$  мкс от начала инжекции электронного пучка в плазму, б)  $t = 0,75$  мкс. Цифрами обозначены области частот, относящиеся к: 1 – циклотронной частоте, 2 – плазменной частоте, 3 – двойной плазменной частоте.

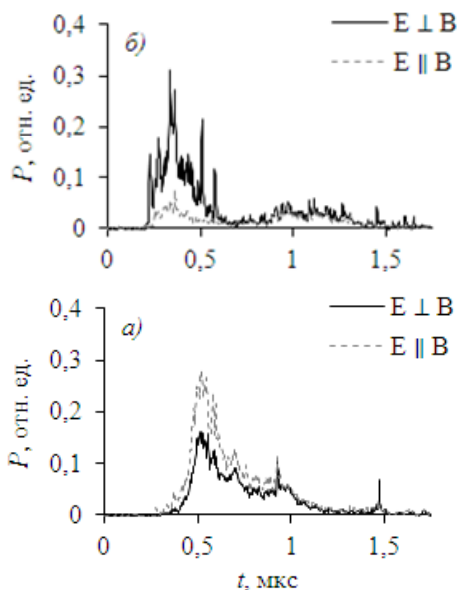


Рис. 4.2.3. Эволюция интенсивности взаимно-ортогональных компонент электрического поля эмиссии излучения в спектральном диапазоне  $\Delta f/f = 10\%$ . Обозначения: а) окрестность плазменной частоты,  $f = 190$  ГГц, эксперимент PL12622, б) окрестность двойной плазменной частоты,  $f = 315$  ГГц, эксперимент PL12624.

### 4.2.3. Дуговой источник предварительной плазмы.

Задачей данной работы являлась разработка принципиально нового способа заполнения установки низкотемпературной стартовой плазмой. Это должно существенно улучшить вакуум и уменьшить перезарядные потери из плазмы, что особенно важно при работе с длинноимпульсными пучками. Существующая система создания предварительной плазмы показала высокую надежность в широком диапазоне рабочих давлений дейтерия, однако из-за принципа ее работы в вакуумной камере находилось большое количество нейтрального газа.

В качестве нового источника плазмы было предложено использовать импульсную дуговую плазменную пушку. В 2013 году плазменная пушка была спроектирована и изготовлена. Особенности требований к конструкции являются необходимость работы в сильном продольном магнитном поле и условие безопасной работа в экспериментах по инжекции электронного пучка, в которых плазменная пушка является одновременно и приёмником пучка на выходе. Пушка содержит катод, кольцевой анод и диафрагмированный дуговой канал длиной 130 и апертурой 40 мм. В области катода импульсно напускается газ и поджигается разряд с током 10 кА. Далее плазма распространяется вдоль магнитного поля и заполняет область магнитного удержания.

Пушка была смонтирована в торце плазменной камеры ГОЛ-3. Для изучения параметров предварительной плазмы измерялись: интегральная плотность плазмы вдоль центральной хорды (интерферометры на расстоянии 0,4 и 8,3 м), хордовый профиль плотности (поперечная инжекция  $H_0$  на расстоянии 6,1 м), локальная плотность плазмы (томсоновское рассеяние на расстоянии 10,8 м), оптическое излучение (на разных координатах). Рисунок 4.2.4 изображает ход плотности плазмы в 40 см от пушки при токе разряда 10 кА и магнитных полях внутри пушки и вне нее соответственно 0,6, 1 Тл и 3,2, 1,1 Тл. На расстоянии 10 метров от пушки наблюдалось уменьшение плотности плазмы в 10 – 100 раз до величин  $nl \approx 10^{14}$  см $^{-2}$ . Причина этого в настоящее время устанавливается.

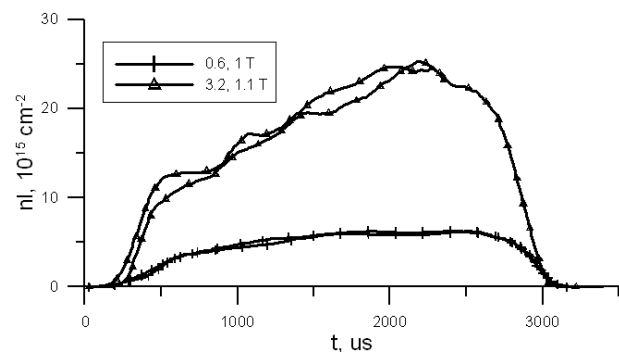


Рис. 4.2.4. Интеграл плотности плазмы по диаметру на расстоянии 0,4 м от анода плазменной пушки.

#### 4.2.4. Численное моделирование формирования и транспортировки электронного пучка на установке ГОЛ-3.

Особенностью моделирования источников пучков заряженных частиц с плазменными эмиттерами является влияние электрических полей и потоков частиц на форму поверхности эмиттирующей плазмы, которая сама является частью электронно-оптической системы источника и определяет характеристики формируемого им пучка. По этой причине алгоритмы вычисления равновесной формы плазменных поверхностей становятся важнейшей составляющей любого кода, предназначенного для решения задач плазменной эмиссионной электроники.

В 2013 году продолжалось совершенствование вычислительного кода POISSON-2, разработанного в Институте. Код позволяет вести расчет нескольких плазменных областей с эмиссией частиц разных сортов и с формированием пучков заряженных частиц в самосогласованных электрических и магнитных полях. Важной частью алгоритмов является поиск распределения потенциала вблизи эмиттеров, которое существенно зависит от функции распределения компонент плазмы. В вычислительный код были введены алгоритмы решения задачи Пуассона с граничными условиями на величину электрического поля на поверхности плазмы с заданным потенциалом, для выполнения условия равновесия поверхности. Выполнение этих условий обеспечивалось вычислением соответствующей формы поверхности плазмы при заданном эмиссионном потоке частиц с нее.

Проведено моделирование диодной ячейки многоапертурного источника электронного пучка многопробочной ловушки ГОЛ-3. Решена самосогласованная задача формирования сильноточного пучка электронов в диоде с эмиссионными плазменными поверхностями во внешнем магнитном поле, обеспечивающая прохождение встречных электронного и ионного потоков через анодные и катодные апертуры без токоосаждения на электроды. Решение позволило определить диапазон изменения плотности тока ионов из анодной плазмы, в котором угловые характеристики сформированного электронного пучка допускают его сжатие ведущим магнитным полем в 200 раз для ввода в ловушку через магнитную пробку.

Дополнительно для проверки влияния отражения электронов пучка от входной пробки на работу диода проведены теоретический анализ и численное моделирование с помощью вычислительного кода "Эра" (совместно с ИВМиМГ СО РАН); определены предельные токи и проведено сравнение с ранее проведенными экспериментами по транспортировке и сжатию пучка. Получено хорошее согласие полученных токов с экспериментальными значениями, при которых наблюдается пробой диода и сокращение длительности импульса. Таким образом, показано, что отражение пучка от входной пробки ловушки является одним из наиболее существенных механизмов для

нарастания плотности анодной плазмы, которая приводит к пробое диодного зазора. Тем не менее, анодная плазма умеренной плотности в транспортном канале нужна для компенсации пространственного заряда и уменьшения углового разброса в пучке, выходящем из источника. Дальнейшее продвижение к увеличению длительности пучка в моделировании и эксперименте связывается с поисками условий, при которых влияние анодной плазмы на работу диода было бы минимизировано.

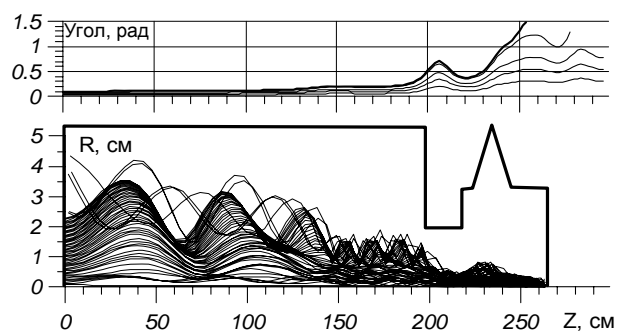


Рис. 4.2.5. Питч-углы и траектории электронов пучка с током 70 А в транспортном канале ГОЛ-3 в режиме, когда наблюдаются электроны, отраженные от магнитной пробки ( $z \sim 260$  см) обратно в диод.

#### 4.2.5. Развитие технологии источников длинноимпульсных электронных пучков с плазменным эмиттером.

В 2013 году продолжались работы с источником мощного субмиллисекундного пучка электронов на основе плазменного эмиттера и мультиапертурной электронно-оптической системы (ЭОС). Плазменный эмиттер электронов формировался импульсным дуговым разрядом с холодным катодом в водороде низкого давления. Мультиапертурная ЭОС представляла собой плоский диод с молибденовыми электродами с большим количеством круглых соосных отверстий, образующих гексагональную «решетку». Источник располагался внутри концевой вакуумной ловушки ГОЛ-3 в аксиальном магнитном поле  $\sim 10$  мТл, создаваемом внешними обмотками бака. Электронный пучок транспортировался далее с адиабатической компрессией в нарастающем магнитном поле для последующей инжекции в плазменную камеру ГОЛ-3.

Выполненные в истекшем году усовершенствования источника были направлены, в первую очередь, на повышение тока генерируемого пучка за счет увеличения эффективной площади эмиссии. Для этого количество апертур ЭОС было увеличено с 241 до 499. Диаметр ЭОС при этом увеличился с 82 мм до 118 мм. Вместе с этим был сделан ряд изменений в конструкции плазменного эмиттера. Со 100 мм до 210 мм была увеличена длина экспандера эмиссионной плазмы (полого анода дугового разряда) в торце кото-

рого находилась катодная (эмиссионная) решетка диода. Магнитное поле в дуговом канале на начальном участке формирования разряда было увеличено с 0,1 Тл до 0,8 Тл. Таким образом усиливалось расхождение потока магнитного поля на длине плазменного экспандера, что должно было способствовать увеличению поперечного сечения газоразрядной плазмы в области катодной решетки и, соответственно, увеличению эффективной площади эмиссии.

Модернизированный источник прошел экспериментальную проверку. В тестовых режимах работы без инъекции пучка в ГОЛ-3 было продемонстрировано кратное увеличение тока генерируемого пучка в 2,5 раза по сравнению с результатами прошлого года. Типичные осциллограммы показаны на рисунке 4.2.6. Средняя мощность пучка составила величину около 20 МВт при длительности до 0,2 мс. При двукратном снижении тока эмиссии достигалась миллисекундная длительность генерации.

Наряду с возросшим током пучка, модернизированный вариант источника показал несколько худшую тренируемость и стабильность работы в эксперимен-

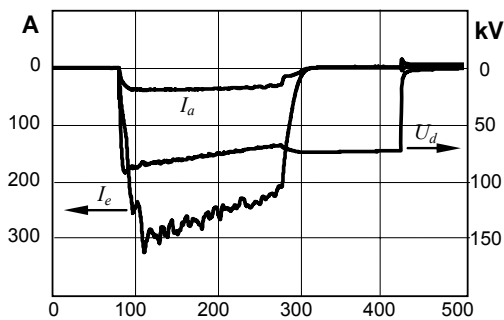


Рис. 4.2.6. Типичные осциллограммы электронного пучка в режиме без инъекции в ГОЛ-3:  $U_d$  – напряжение на диоде;  $I_e$  – ток эмиссии;  $I_a$  – ток, оседающий на анодный электрод.

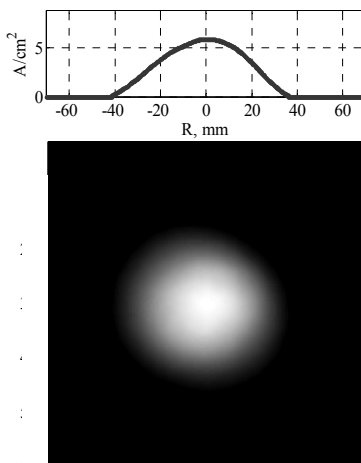


Рис. 4.2.7. Рентгеновская обскурограмма пучка и восстановленное радиальное распределение плотности тока.

тах по инъекции пучка в ГОЛ-3. Объяснение этого факта может быть связано с тем, что, несмотря на принятые меры по увеличению площади эмиссии, распределение плотности эмиссионного тока по катодной решетке имеет выражено неоднородный характер, с максимумом вблизи оси источника. Вследствие этого периферийные апертуры ЭОС работают в неблагоприятных условиях с точки зрения оптики пучка, и плохо тренируются. Профиль плотности тока пучка измерялся на металлической мишени в 1,5 м от источника с помощью рентгеновской камеры-обскуры (Рис. 4.2.7). Магнитное поле в области мишени было в 1,4 раза выше по сравнению с полем в районе ЭОС, поэтому размер пучка на катоде ЭОС примерно на 20% больше размера пучка на мишени.

#### 4.2.6. Управление вращением плазмы методом инъекции электронного пучка.

Одним из перспективных способов стабилизации плазмы в современных открытых ловушках является метод вихревого удержания, который был ранее предложен теоретически в ИЯФ СО РАН и затем подтвержден в экспериментах на установке ГДЛ, где он является в настоящее время основным способом обеспечения МГД-устойчивости плазмы. Суть метода заключается в придании центральной области удержания плазмы отрицательного потенциала по отношению к ее периферии. На установке ГДЛ это делается специальной системой электродов, на которые подается напряжение. При этом плазма приходит во вращение вокруг оси в результате дрейфа в скрещенных радиальном электрическом и продольном магнитном поле. Другим возможным способом достижения такого результата является формирование отрицательного потенциала на оси при помощи инъекции электронного пучка. Подобная технология в случае успеха может оказаться более приемлемой для установок с большими тепловыми потоками, в которых использование электродов недопустимо.

На установке ГОЛ-3 продемонстрирована возможность управления вращением плазмы путем инъекции в нее электронного пучка. Для этой цели была проведена серия экспериментов по инъекции в плазму многопробочной ловушки электронного пучка со следующими параметрами: длительность инъекции до 100 мкс, энергия электронов до 90 кэВ, инжектируемый ток до 160 А. Впервые была осуществлена модуляция тока электронного пучка с глубиной модуляции тока более 95%. Было обнаружено быстрое вращение магнитных возмущений во время инъекции пучка. Построена зависимость скорости вращения плазмы от параметров эксперимента. Установлена зависимость скорости обращения от ведущего магнитного поля вида  $B^{-0.5}$ . Скорость обращения и её функциональная зависимость от внешних условий позволяют предположить, что причиной данного эффекта является дрейф в скрещенных электрическом и магнитном полях. Электрическое поле оценивается как  $E \sim 100$  В/см, что соответствует отрицательному заряду на

оси плотностью до  $5 \times 10^{-10}$  Кл/см ( $\sim 5 \div 10\%$  заряда пучка). Распределение заряда для указанной зависимости является промежуточным между зарядом, сосредоточенным на оси системы, и зарядом, равномерно распределённым по плазме. При инъекции модулированного пучка зависимость частоты вращения второго и последующих подпучков от величины магнитного поля исчезает. Данный эффект объясняется наработкой плазмы первым подпучком, в результате чего реализуется случай, соответствующий приближению сосредоточенного на оси плазмы заряда.

Показана инверсия направления вращения возмущений после прекращения инъекции пучка. Направление вращения инвертируется при превышении током пучка порогового значения  $\sim 10-15$  А, при токе пучка не выше 8 А направление вращения соответствует положительному заряду плазмы. Время установления направления вращения не превышает 1-5 мкс. Это свидетельствует о возможности вноса электрического потенциала в плазму с помощью электронного пучка, то есть без непосредственного её контакта с холодными электродами. Тем самым, сравнительно маломощный электронный пучок может быть использован для контролируемого вноса потенциала в плазму. Данное достижение позволяет рассматривать такой метод управления потенциалом плазмы и для мощных линейных ловушек для удержания плазмы реакторного класса.

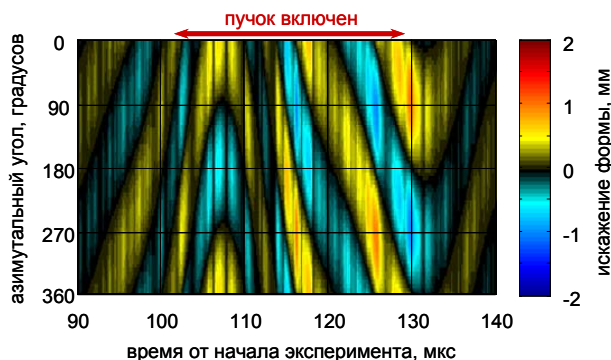


Рис. 4.2.8. Динамика возмущений формы магнитной поверхности плазмы во время инъекции модулированного электронного пучка. Наклон линий равной яркости соответствует скорости и направлению вращения плазмы, цвет – величине отклонения границы плазмы от расчётного положения. Электронный пучок модулирован с глубиной более 95% и скважностью 2, период модуляции 60 мкс.

#### 4.2.7. Перспективы развития ГОЛ-3.

Начиная с момента создания установки ГОЛ-3 и по настоящее время, основным методом нагрева плазмы до высоких температур является инъекция мощных электронных пучков вдоль магнитного поля. В результате коллективного взаимодействия пучка с плазмой происходит быстрая релаксация пучка, сопровождающаяся возникновением турбулентности и

нагревом плазмы. В предыдущих экспериментах на многопучковой ловушке ГОЛ-3 были достигнуты субтермоядерные параметры дейтериевой плазмы с ионной температурой более 2 кэВ и временем жизни масштаба 1 мс при плотности  $10^{21}$  м<sup>-3</sup>.

Анализ возможных путей развития установки показал, что важным научным направлением является изучение закономерностей квазистационарного вытекания высокотемпературной плазмы из открытой ловушки с многопучковыми концевыми секциями. Такие результаты непосредственно востребованы программой создания открытой ловушки нового поколения. Помимо традиционных для ГОЛ-3 электронных пучков, в квазистационарной системе становится возможным использование и других традиционных методов нагрева и поддержания плазмы, в частности, при помощи инъекции пучков нейтрального дейтерия с мощностью масштаба мегаватта. Подготовка квазистационарного эксперимента с нейтральной инъекцией на ГОЛ-3 потребует работ по проектированию и изготовлению собственно инжекторов с системами питания, а также создания новой вакуумной камеры.

Система нейтральной инъекции установки ГОЛ-3 содержит два инжектора атомарных пучков (АП) с энергией 25 кэВ суммарной мощностью 1,5 МВт, длительностью пучка до 5 мс, с геометрической фокусировкой пучка. Инъекция осуществляется нормально к оси ГОЛ-3 в центр серийной локальной ловушки. Угол между инжектируемыми пучками 158°. Цель инъекции АП: создание популяции быстрых ионов в локальной ловушке ГОЛ-3 и исследование транспорта этих ионов в многопучковой ловушке в условиях турбулентной плазмы, поддерживаемой продольным РЭП. Предполагается использовать анализатор атомов перезарядки, лазерную диагностику томсоновского рассеяния, диамагнитные датчики и другие средства диагностики плазмы из арсенала ГОЛ-3. Предусмотрена возможность быстрого перехода с инъекции D на инъекцию H, позволяющей идентифицировать инжектированные в дейтериевую плазму ионы.

Атомарные инжекторы смонтированы, находятся под вакуумом  $2 \cdot 10^{-4}$  Па. Собрана система газового питания инжекторов, допускающая подключение двух баллонов с газом и оперативный выбор газа. Система электрического питания в настоящее время изготавливается. Источник составлен из 25 последовательно соединенных секций. Каждая секция работает автономно, вырабатывает импульс напряжения 1 кВ, имеет оптический вход запуска и сброса, а также, защиту по току. Секции настроены и протестированы. Вызванное разрядом конденсаторов падение напряжения компенсируется включением дополнительных секций в середине импульса. Регулировка ускоряющего напряжения осуществляется с шагом 1 кВ количеством включенных секций. Две стойки 800\*800\*33U, содержащие источник регулируемого в пределах 0,3-1 кА тока дугового разряда генератора плазмы, схемы поджига разряда, питания газовых клапанов и смеше-



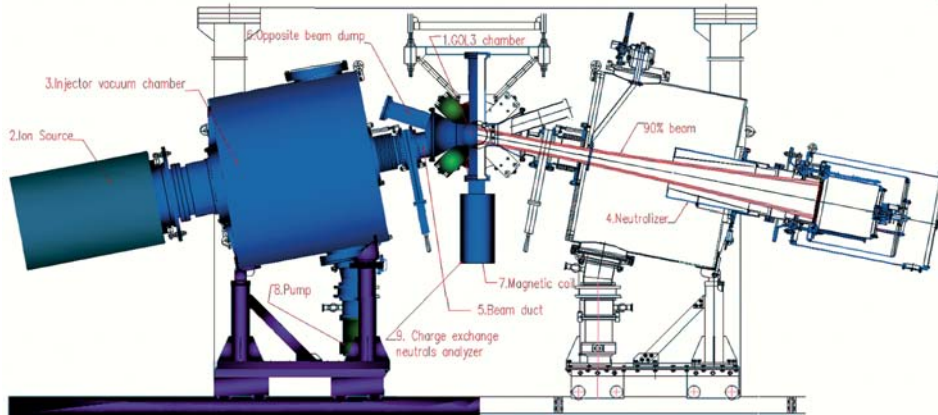


Рис. 4.2.9. Схема расположения инжекторов нейтральных пучков на установке ГОЛ-3 (1 очередь).

ния выходной сетки 700 В, находятся в стадии монтажа. Каждый из инжекторов снабжен компьютером, подключенным по оптоволоконной линии к локальной сети пультовой ГОЛ-3.

Проводилось моделирование формирования атомарных пучков, учитывающее дефекты реально изготовленных сферических формирующих сеток. Вызванная неидеальностью сеток потеря интенсивности пучка в фокусе составляет менее 5%.

#### 4.2.8. Заключение.

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

В работе Ю.А. Цидулко, И.С. Черноштанов, представленной на XL Международной конференции по физике плазмы и УТС (Звенигород, 2013), исследуются условия развития альфвеновской ионно-циклотронной (АИЦ) неустойчивости в открытой ловушке с проточной слабо-столкновительной плазмой. Развивающаяся в много-пробочной ловушке АИЦ неустойчивость может обеспечить дополнительное бесстолкновительное рассеяние ионов, необходимое для эффективного многопробочного удержания.

Невозмущенное угловое распределение ионов находится из приближенного кинетического уравнения, учитывающего угловое рассеяние, баунс-осцилляции запертых частиц, уход частиц в конус потерь и их появление за счет втекающей плазмы. Исследовались различные функции распределения по питч-углу для втекающих ионов.

Возбуждение АИЦ неустойчивости вызывается инверсной заселенностью траекторий резонансных частиц, для которых продольная скорость удовлетворяет условию циклотронного резонанса  $v_{||res} \approx (\omega - \Omega_{ci})/k$ . В случае ловушки с проточной плазмой дестабилизирующий вклад дают частицы с питч-углом близким к углу конуса потерь. Суммарный вклад от всех резонансных частиц оказывается дестабилизирующим, когда  $v_{||res} \sim v_T$ . Граница устойчивости сильно зависит от частоты рассеяния ионов и длины пробкотрона.

Для вычислений используется аппроксимация функции распределения, позволяющая находить аналитическое продолжение дисперсионного соотношения в комплексные плоскости  $z$ ,  $\omega$  и  $k$ . Последнее необходимо для поиска границы абсолютной неустойчивости и точек "остановки" волны в WKV методе.

Показано, что АИЦ неустойчивость может возникать в пробкотроне с проточной плазмой и обеспечивать бесстолкновительное рассеяние ионов с частотой, существенно превышающей частоту ион-ионных столкновений.

#### 4.3.2. Исследование модуляционной неустойчивости ленгмюровской волны накачки в существенно немаквелловской плазме.

Исследовалось влияние интенсивного хвоста надтепловых электронов на дисперсионные свойства изотропной плазмы, а также на развитие

модуляционной неустойчивости монохроматической ленгмюровской волны в условиях, когда хвост распределения простирается до релятивистских скоростей и содержит подавляющую часть кинетической энергии плазмы. Показано, что наличие медленно спадающего хвоста надтепловых электронов приводит к увеличению тепловой поправки к частоте ленгмюровской волны, что в гидродинамическом подходе соответствует увеличению эффективной температуры электронов, и почти не влияет на закон дисперсии ионного звука, в котором роль электронной температуры играет температура низкоэнергетического ядра распределения. Установлено также, что при переходе к немаквелловской плазме происходит заметное сужение спектра модуляционной неустойчивости без изменения значений максимального инкремента и соответствующего ему волнового числа.

#### 4.3.3. Точная кинетическая теория неустойчивости горячего электронного пучка в горячей замагниченной плазме.

Задача вычисления инкремента неустойчивости горячего релятивистского электронного пучка в горячей замагниченной плазме впервые решена в рамках наиболее общей линейной теории, основанной на релятивистском кинетическом уравнении Власова. Исследована стабилизирующая роль теплового разброса плазменных электронов не только в маквелловской, но и в сильно неравно-весной плазме, содержащей характерные для пучково-плазменных экспериментов надтепловые хвосты. Показано, что нерелятивистский тепловой разброс в маквелловской плазме приводит к подавлению косых волн, почти не влияя на скорость раскочки продольных колебаний, в то время как формирование хвоста надтепловых электронов способствует заметному снижению инкремента нарастания самой быстрой двухпотоковой неустойчивости, существенно уменьшая эффективность турбулентного нагрева плазмы.

#### 4.3.4. Теоретические исследования улучшенного продольного удержания плазмы в гофрированном поле.

Предложена новая система для снижения продольных потерь в открытой ловушке или перекачивания высокотемпературной плазмы вдоль магнитного поля. Она основана на вращении плазменного шнура в магнитном поле, гофрированном с винтовой (геликоидальной) симметрией.

Проведены теоретические исследования динамических процессов, которые могут приводить к аномальному рассеянию ионов в ячейках многопробочной ловушки. Такое рассеяние необхо-

димо для эффективной работы многопучковой системы при низкой плотности плазмы.

Показано, что квазипродольные звуковые колебания в пробкотронах могут обладать достаточной добротностью. Предсказанная частота колебаний находится в хорошем соответствии с экспериментальными данными с ГДЛ.

#### 4.4. ИНЖЕКТОРЫ ПУЧКОВ БЫСТРЫХ АТОМОВ И ИОНОВ

##### 4.4.1. Инжекторы пучков быстрых атомов.

По контракту с Институтом физики плазмы им. Макса Планка (Германия) в ИЯФ разработан диагностический инжектор атомов водорода для крупнейшего в мире стелларатора Wendelstein 7-X, сооружение которого заканчивается в г. Грайфсвальд. Отделение Института физики плазмы им. Макси Планка в Грайфсвальде является одним из ведущих европейских центров по термоядерным исследованиям. Эксперименты на W7-X позволят изучить поведение плазмы с параметрами, близкими к реакторным, и сделать важные заключения относительно особенностей электростанции на основе стелларатора.

В конце прошлого года инжектор был успешно запущен на стенде. В соответствии с планами через год инжектор должен быть установлен на стеллараторе. Инжектор формирует пучок атомов водорода с эквивалентным током до 2,4 А и энергией 60 кэВ. Длительность импульса пучка - до 2,5 сек. с различными режимами модуляции пучка в течение 10 секунд.

С помощью атомарного пучка и диагностик, основанных на анализе атомов перезарядки и измерении спектра рекомбинационного излучения в процессе перезарядки, можно будет определить широкий набор параметров плазмы, таких как ионная температуры, концентрация примесей, потенциал плазмы, радиальное электрическое поле и других.

##### 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. Ведется изготовление основных элементов инжектора. На экспериментальном стенде проводятся испытания прото-типа источника отрицательных ионов водорода с током пучка до 1,5 А. Ведется подготовка большого экспериментального

стенда для ускорения пучков отрицательных ионов водорода с током  $\sim 1,5$  А до энергии  $\sim 1$  МэВ.

## 4.5. ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ СПЕКТРА МОЩНОГО МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УСТАНОВКЕ ЭЛМИ

### 4.5.1. Введение.

Одним из основных результатов экспериментов по генерации мм-излучения в двухканальном планарном мазере на свободных электронах (МСЭ) с двумерной распределенной обратной связью, выполненных на установке ЭЛМИ в 2012 году, была демонстрация возможности одновременной генерации мощных импульсов 4-х мм излучения в каналах при синхронности фазы колебаний каналов на заданной частоте. Параметры генерируемых в каналах импульсов излучения были следующими: характерная мощность импульса из одного канала  $\sim 10\text{--}20$  МВт, длительность импульсов - до 250 нс, частота колебаний в середине линии излучения – 74,6 ГГц (одна из продольных мод резонатора), ширина спектра составляла 10-20 МГц и была близка к естественной ширине линии. В серии экспериментов того же года были получены зависимости мощности миллиметрового излучения в полосе частот, соответствующей продольным модам резонатора (74,5-75,5 ГГц), от величины поперечной составляющей ондуляторного магнитного поля при нескольких заданных значениях ведущего продольного поля (см. годовой отчет ИЯФ за 2012 год). На основе указанных выше экспериментов был сделан вывод, что генерация мощного мм-излучения возможна при варьировании статического ондуляторного поля в достаточно широких пределах. Однако прецизионные измерения спектра излучения, проведенные в этих экспериментах с помощью гетеродинной диагностики, показали, что при варьировании ондуляторного поля в допустимых для эксперимента пределах в резонаторе МСЭ, как правило, генерируются несколько его продольных мод в течение длительности импульса излучения. В то же время можно было ожидать, что при выполнении условия ондуляторного резонанса:  $\omega - hv_{\parallel} = \Omega_b$ , где  $v_{\parallel}$  – продольная скорость электрона,  $\Omega_b = 2\pi v_{\parallel} / d_u$  – частота баунс-осцилляций электрона в ондуляторном магнитном поле с периодом  $d_u$ , в эксперименте достижима стабильная одночастотная генерация на частоте одной из собственных мод резонатора. Исходя из этих соображений, в качестве цели экспериментов 2013 года было запланировано достичь устойчивой одночастотной генерации в течение всей длительности импульса мм-излучения за счет выполнения условия ондуляторного резонанса. Удовлетворить этому условию можно было правильным выбором значений поперечной и продольной компонент магнитного поля ондулятора в соответствии с энергией электронов пучка.

### 4.5.2. Условия эксперимента.

Схема экспериментов по генерации излучения в двухканальном планарном МСЭ представлена на рис. 4.5.1. Подробное описание схемы, а также диагностик СВЧ-излучения приведено в отчете ИЯФ за 2012 год.

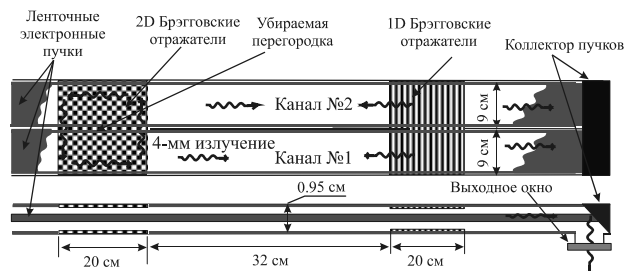


Рис. 4.5.1. Схема экспериментов по генерации мм-излучения в двухканальном планарном МСЭ.

Следует отметить, что в экспериментах 2013 года, как и в предыдущем году, каналы МСЭ на всем их протяжении были отделены друг от друга металлическим бруском. Тем не менее, между каналами существовала некоторая электродинамическая связь вследствие проникновения небольшой части потоков излучения из канала в канал в области графитовых коллекторов, предназначенных для поглощения пучковых электронов.

Так как целью экспериментов было получение одночастотной генерации излучения без перескока с одной продольной моды на другую, необходимо было подобрать такой режим работы генератора импульсного напряжения (ГИН), при котором в течение нескольких сотен наносекунд напряжение на диоде удерживалось бы при неизменном значении. При этом необходимо было обеспечить хорошую повторяемость формы импульса и его амплитуды от выстрела к выстрелу. В результате предварительного численного моделирования было установлено, что для достижения необходимого результата девиация напряжения на диоде за время длительности импульса излучения не должна превышать 2%.

ГИН установки ЭЛМИ состоит из двух независимых частей, соединенных последовательно. Его нижняя часть представляет собой шесть последовательно соединенных ячеек Фитча, которые формируют импульсное напряжение, изменяющееся во времени по закону:  $U = U_0 [1 - \cos(2\pi t / T)]$ . В свою очередь, верхняя часть состоит из 12 этажей последовательно соединенных конденсаторов и заряжается до 600 кВ от источника постоянного напряжения. Такая схема ГИНа позволяет управлять амплитудой и, в некоторой степени, формой напряжения на диоде путем варьирования зарядных напряжений обеих частей ГИНа, а также выбором времени коммутации мегавольтного газового разрядника, подключающего ГИН к диоду ускорителя. Перед проведением серии экспериментов по генерации мм-излучения была проведена существ-

венная модернизация ГИНа, которая включала в себя несколько действий. Во-первых, были заменены старые газовые разрядники с обострением поля на новые многоззорные РУМ 50x2 (50 кВ, 120 кА, 0,6 Кл), изготовленные в производстве ИЯФ. Во-вторых, была заменена система их запуска. В настоящее время эти разрядники с высокой надежностью коммутируют напряжение на конденсаторах ГИНа 42 кВ при максимальном токе 100 кА и периоде колебаний  $T=30$  мкс. В-третьих, произведена существенная переделка системы запуска мегавольтного разрядника, основным элементом которой было создание изолированной системы запуска промежуточного генератора Маркса (72 кВ, 30 кА,  $\tau \sim 100$  нс), который инициирует пробой мегавольтного разрядника. Новая система запуска существенно повысила надежность срабатывания этого разрядника и снизила разброс в его времени срабатывания до 0,5 мкс.

#### 4.5.3. Результаты исследований.

В данной серии экспериментов по генерации мм-излучения в двухканальном МСЭ мы варьировали от выстрела к выстрелу амплитуду и форму напряжения на диоде ускорителя при фиксированных значениях поперечной и продольной компонент магнитного поля в каналах. Так в одном из выстрелов при слабой аттенюации излучения на входе в гетеродинную диагностику, наблюдалась одновременная генерация излучения на всех продольных модах резонатора, что иллюстрирует рисунок 4.5.2. На этом рисунке сопоставлен результат регистрации спектральной плотности мощности генерируемого излучения с результатами «холодных» измерений добротности брегговского резонатора на частотах его собственных мод, которые были проведены перед данной серией «горячих» экспериментов с электронными пучками. Необходимо отметить, что амплитуда спектральной плотности на частоте 74,6 ГГц непропорционально занижена, чтобы показать излучение на других частотах.

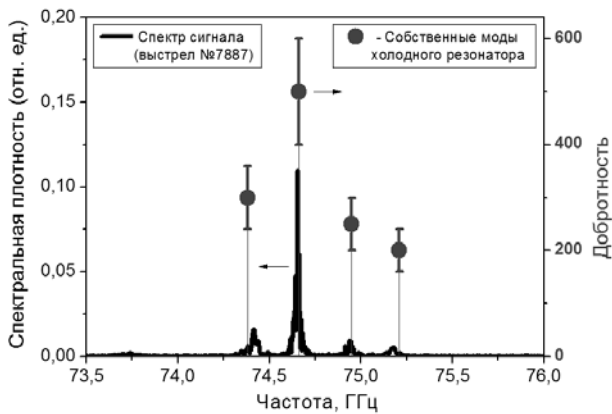


Рис. 4.5.2. Спектр мм-излучения в одном из каналов МСЭ в сопоставлении с результатами «холодных» измерений частоты и добротности продольных мод резонатора.

Как видно из рисунка, зарегистрированное в эксперименте распределение спектральной плотности мощности генерируемого излучения хорошо соответствует положению собственных мод резонатора и качественно согласуется со значениями добротности резонатора на этих частотах.

В последующих опытах для получения одночастотного режима генерации мм-излучения мы подбирали форму импульса напряжения на диоде такой, чтобы спад напряжения за время генерации излучения (150–250 нс) не превышал 10–20 кВ. В этих условиях проводилась одновременная регистрация спектров излучения, выходящего из двух каналов МСЭ.

На рисунках 4.5.3 и 4.5.4 представлены типичные осциллограммы напряжения на диоде, токов ленточных пучков и временная динамика спектра излучения в одном из выстрелов в режиме одночастотной генерации на частоте наиболее добротной моды резонатора – 74,6 ГГц.

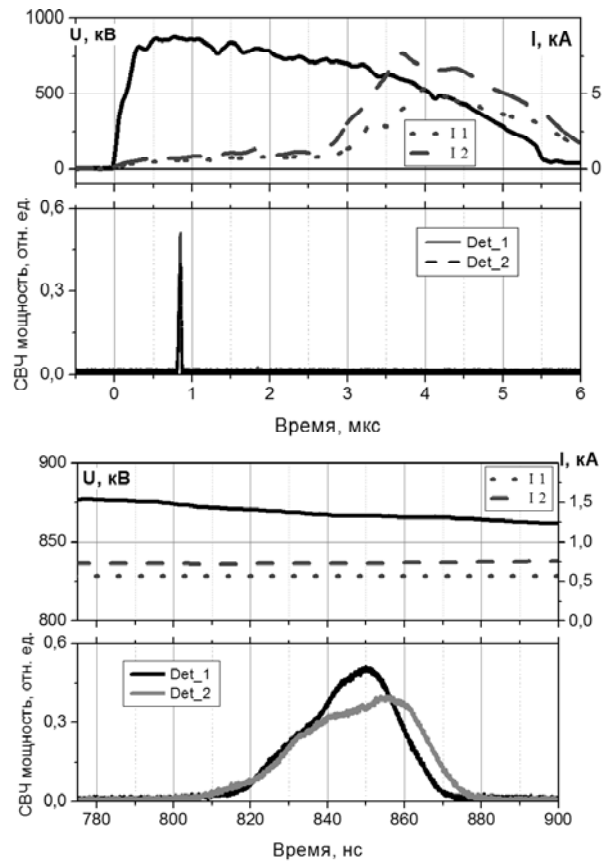


Рис. 4.5.3. Осциллограммы напряжения на диоде  $U$ , токов ленточных пучков ( $I_1$ ,  $I_2$ ) и мощности мм-излучения из двух каналов МСЭ ( $Det_1$ ,  $Det_2$ ) в одном из типичных выстрелов с одномодовой одночастотной генерацией излучения с частотой 74,6 ГГц. Два верхних и два нижних рисунка отличаются только масштабом времени.

В серии экспериментов с генерацией пучков при форме импульса напряжения, подходящей для одночастотной генерации, при продольной компоненте

поля ондулятора – 1,13 Тл и амплитуде поперечной составляющей – 0,138 Тл были отобраны только те выстрелы, в которых наблюдался одночастотный режим генерации хотя бы в одном из каналов МСЭ-генератора. Так, если напряжение на диоде во время генерации излучения лежало в полосе значений  $840 \text{ кВ} \pm 20 \text{ кВ}$ , то одночастотный режим был зарегистрирован на частоте наиболее добротной моды резонатора – 74,6 ГГц. В свою очередь, для значений напряжения на диоде  $875 \pm 20 \text{ кВ}$  одночастотная генерация в большинстве выстрелов осуществлялась на другой продольной моде резонатора с частотой 77,7 ГГц.

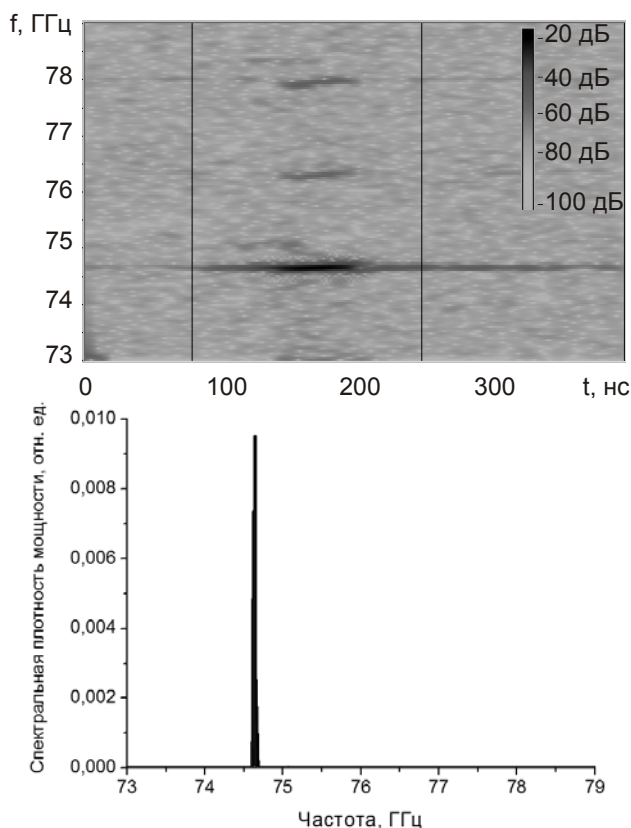


Рис. 4.5.4. Временная динамика спектра мм-излучения в одном из выстрелов (выстрел №7986) в режиме одночастотной генерации (верхний рисунок), и частотный спектр излучения на интервале времени 70–250 нс (нижний).

Из напряжения на диоде в середине полосы значений напряжения, при которых наблюдается генерация продольной моды с частотой  $\omega_m$ , определялась начальная энергия электрона при входе его в ондулятор. Исходя из этой энергии, с помощью компьютерного моделирования движения электрона в ондуляторном магнитном поле мазера вычислялась его средняя продольная скорость в резонаторе –  $v_{||}$ . В результате, подставляя эту скорость электрона в выражение для расстройки ондуляторного синхронизма

ма:  $\Delta = (\omega_m - hv_{||} - \Omega_b) / \omega_m C$ , где  $C$  – параметр Пирса (для наших параметров  $C \approx 4 \cdot 10^{-3}$ ), была найдена величина расстройки  $\Delta = 1,5$  оптимальная для наших экспериментальных условий. Это значение хорошо согласуется с величиной расстройки, при которой в численном моделировании достигается максимум электронного КПД [ЖТФ, 2014, т. 84, вып. 2, с. 98-105]. Такое согласие экспериментальных и теоретических значений расстройки ондуляторного синхронизма говорит об адекватности описания процесса генерации излучения в планарном МСЭ с двумерно распределенной обратной связью.

#### 4.5.4. Подготовка экспериментов по двухстадийной генерации терагерцового излучения.

Для осуществления экспериментов по двухстадийной генерации ТГц-излучения нами проводится модернизация установки ЭЛМИ. В настоящее время изготовлены: новый вакуумный канал (Рис. 4.5.5, а) с продольным ведущим магнитным полем величиной до 2,5 Тл, предназначенный для транспортировки двух ленточных пучков и новый активный магнитный ондулятор (Рис. 4.5.5, б) для раскачки поперечной составляющей скорости электронов. Завершено проектирование и начато изготовление основных узлов подключения нового канала к ускорителю У-3, а также системы сброса электронов на коллектор и вывода ТГц-излучения в атмосферу.

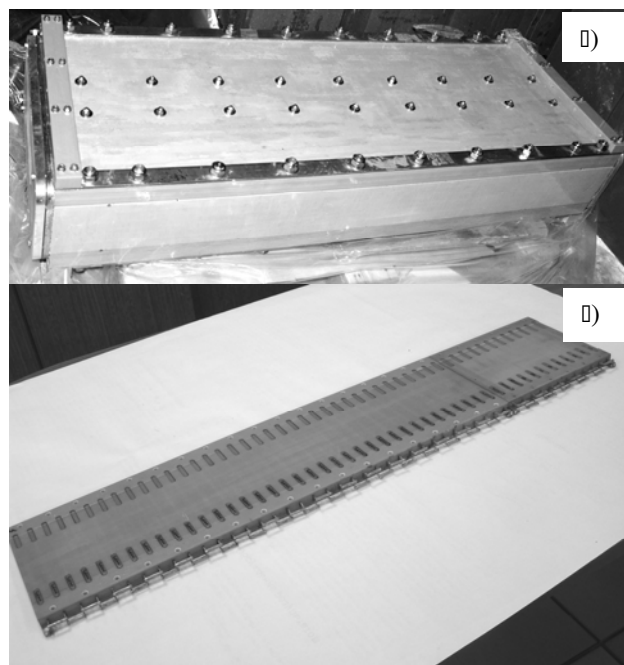


Рис. 4.5.5. Фотографии а) нового вакуумного канала и б) нового ондулятора для двухстадийной схемы генерации ТГц – излучения.

## 4.6. УСТАНОВКА ГДМЛ-Т

### 4.6.1 Введение.

Взаимодействие плазмы с поверхностью является критической проблемой создания термоядерного реактора. В настоящее время общепризнано, что именно процессы на плазмодриемниках будут определять эффективность работы термоядерного реактора и возможность его промышленного использования. При этом на существующих термоядерных установках невозможно достичь потоков энергии и частиц, ожидаемых в реакторах ИТЕР и ДЕМО, поэтому в рамках работ по этим проектам создается сеть специализированных установок, позволяющих изучать различные аспекты взаимодействия плазмы с поверхностью. В ИЯФ СО РАН ведутся работы по созданию новой установки ГДМЛ-Т, предназначенной для проведения исследований эффектов взаимодействия плазмы с поверхностью при параметрах плазмы, близких к ожидаемым в термоядерном реакторе на основе токамака. Установка ГДМЛ-Т будет моделировать условия на плазмодриемниках реактора в квазистационарном режиме работы с импульсно-периодическими нагрузками (ELM-mode). Исследования на этой установке позволят решить следующие задачи:

- Испытание стойкости образцов плазмодриемников ИТЭР и ДЕМО под действием квазистационарного потока плазмы

- Исследование эрозии материалов плазмодриемников под действием импульсно-периодических нагрузок

- Исследование распространения примесей и диффузии приповерхностной плазмы

- Отработка технических решений для создания элементов термоядерного реактора на основе открытой ловушки (сверхпроводящий соленоид, плазмодриемники, система создания стационарной плазмы)

- Подготовка кадров для научных исследований по программе термоядерного синтеза.

Основными отличиями установки ГДМЛ-Т от действующих и проектируемых стенов по взаимодействию плазмы с поверхностью являются сильное магнитное поле, соответствующее полю в токамаке ИТЕР, а также возможность испытания образцов при одновременном действии стационарных и импульсно-периодических нагрузок. В настоящее время ведется проектирование основных узлов и систем установки.

### 4.6.2. Конструкция установки ГДМЛ-Т.

Схема установки ГДМЛ-Т показана на рисунке 4.6.1. Центральную часть установки составляют три идентичных сверхпроводящих соленоида с магнитным полем до 5 Тл. К центральному соленоиду с обеих сторон пристыковываются расширительные камеры, в одной из которых расположен импульсно-периодический генератор электронного пучка. 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  $10^{20} \text{ м}^{-3}$  и температурой 1-10 эВ.

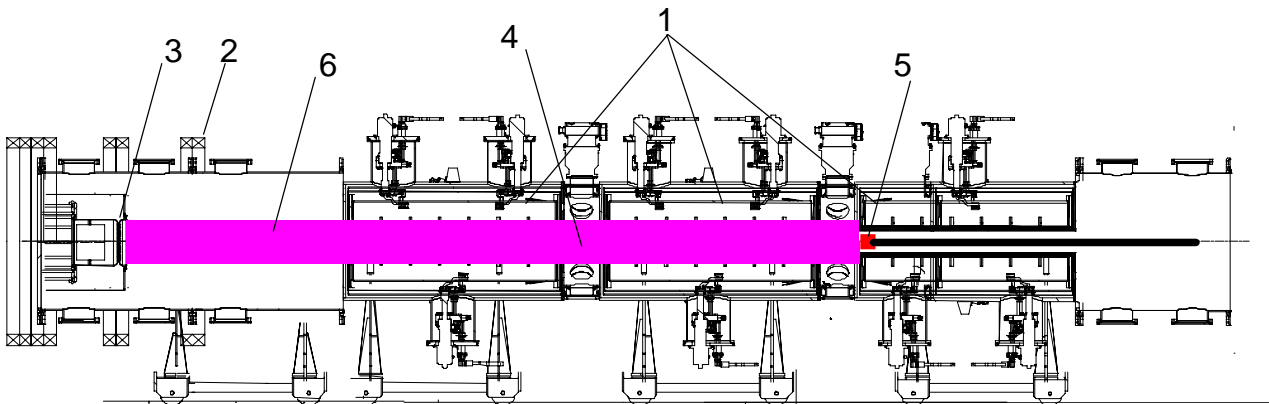


Рис. 4.6.1. Схема установки ГДМЛ-Т: 1 – сверхпроводящие соленоиды, 2 – соленоид генератора электронного пучка, 3 – импульсно-периодический генератор электронного пучка, 4 – система создания плазмы, 5 – тестовая камера с узлом крепления мишеней, 6 – плазменный столб.

Во втором диагностическом модуле располагаются исследуемые мишени и диагностики для исследования поверхностной плазмы. При размещении мишени внутри сверхпроводящего соленоида система создания плазмы будет создавать на образце площадью  $7 \text{ см}^2$  плазменный поток с плотностью мощности до  $10 \text{ МВт/м}^2$  и плотностью потока частиц  $10^{24} \text{ м}^{-2}$ . 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.

#### 4.6.3. Разработка магнитной системы установки ГДМЛ-Т.

Разработка конструкции сверхпроводящего соленоида представляет интерес как для реализации проекта ГДМЛ-Т, так и для проектов термоядерного реактора на основе линейных магнитных систем. Все существующие проекты термоядерных реакторов на основе линейных ловушек предполагают наличие пробок, то есть участков сильного магнитного поля, при этом эффективность удержания плазмы в значительной степени определяется величиной магнитного поля в пробках. Для создания таких пробочных участков необходимо использовать сверхпроводящие соленоиды с предельно достижимым магнитным полем.

Конструкция таких соленоидов имеет ряд особенностей, отличающими их от коммерчески доступных аналогов. Основным отличием является действие некомпенсированного магнитного поля со стороны основной части установки, и как следствие, действие на соленоид больших продольных сил, а также большая апертура и высокие тепловые нагрузки со стороны плазмы на внутреннюю стенку соленоида. Кроме того, в проекте предполагается реализовать возможность создания как однородного, так и пространственно-переменного (многопробочного) поля, что является перспективным с точки зрения улучшения удержания плазмы.

Общий вид и конструкция сверхпроводящего соленоида показаны на рисунках 4.6.2 и 4.6.3. 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.

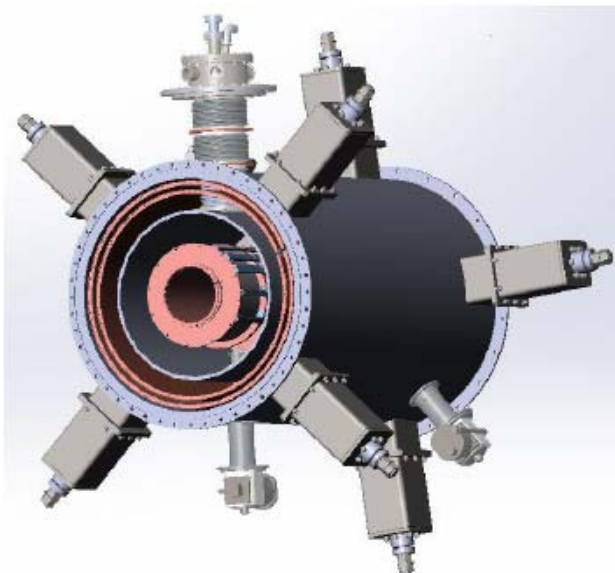


Рис. 4.6.2. Сверхпроводящий соленоид.

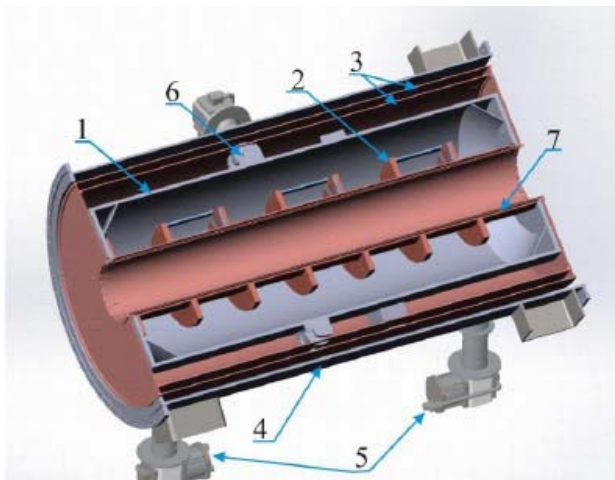


Рис. 4.6.3. Схема модуля СП-соленоида.

1 - криогенный объем, 2 - корпус катушки СП-соленоида, 3 - тепловые экраны, 4 - стенка вакуумной камеры, 5 - криокулеры, 6 - одно из мест крепления кевларового троса, 7 - внутренняя стенка вакуумной камеры с водяным охлаждением.

Внутренняя и внешняя подсекции СП-соленоида запитываются токами различной величины, создаваемыми независимыми источниками тока. Запитка подсекций производится таким образом, что все внешние подсекции создают на оси системы магнитное поле одного направления, а все внутренние радиальные подсекции - знакопеременное магнитное поле. Этим достигается создание гофрированного магнитного поля на оси секции соленоида с четырьмя максимумами и тремя минимумами, при этом величина поля в мак-



сумме составляет 7,3 Тл и в минимуме - 2,7 Тл. 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.

Расчеты магнитных полей и теплового режима соленоида проводились в двумерной аксиально-симметричной геометрии с помощью пакета ANSYS. В результате проведенных расчетов было установлено, что наибольшие силы величиной около 250 кН действуют на крайние секции сверхпроводящего соленоида в направлении его оси, и по мере приближения к центру соленоида эти силы быстро спадают. Механические усилия передаются между внешним корпусом и криогенным объемом через восемь предварительно натянутых кевларовых тросов, обеспечивающих требуемую жесткость при малых теплопритоках.

Разработанная конструкция криогенного объема, защищенного с помощью радиационных экранов и суперизоляции от теплового излучения поверхностей, находящихся при комнатной температуре, а также конструкция тоководов и опорных тросов должны обеспечить минимальный приток тепла в криогенный объем. Притоки тепла к криогенному объему с температурой 4,2 °К создаются следующими источниками:

- тоководы ~ 0,3 Вт;
- по тепловым мостам через опоры ~ 0,5 Вт (определяется конструкцией мостов);
- тепловое излучение от радиационных экранов ~ 0,1 Вт;
- от измерительных проводов датчиков температуры, уровнемера не более ~ 0,05 Вт;
- остаточного газа в вакуумном объеме менее ~1 мВт.

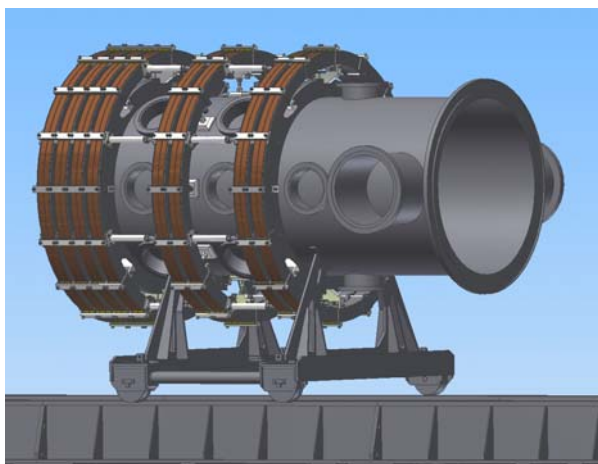


Рис. 4.6.4. Выходная секция установки ГДМЛ-Т.

Уменьшение теплопритока на уровне ниже 1 Вт позволяет обеспечить тепловой баланс криогенного объ-

ема с помощью встраиваемых криокулеров, что позволяет отказаться от использования в системе жидкого гелия, что существенно упрощает конструкцию соленоида и облегчает его эксплуатацию.

В настоящее время определена общая схема конструкции соленоида и ведется конструирование его отдельных узлов. Кроме того, разработан проект и начато изготовление выходной секции установки ГДМЛ-Т (рис. 4.6.4).

#### 4.6.4. 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.



5

УСТАНОВКИ СО ВСТРЕЧНЫМИ  
ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫМИ  
ПУЧКАМИ



## 5.1. РАБОТА ВЭПП-2000 В 2013 ГОДУ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНЖЕКЦИОННОЙ ЧАСТИ КОМПЛЕКСА.

### 5.1.1. Набор статистики в диапазоне $2 \times (160-500)$ МэВ с детекторами КМД-3 и СНД.

Экспериментальный сезон в 2013 году на ВЭПП-2000 был посвящен набору данных детекторами в области низких энергий, от 510 до 160 МэВ в пучке. Помимо подавления эффектов встречи использование круглых пучков значительно ослабляет эффект Тушека, который ограничивает время жизни пучка на низкой энергии. Это позволило ВЭПП-2000 работать на рекордно низкой для электрон-позитронных коллайдеров энергии — 160 МэВ. В 2013 году было набрано  $24 \text{ пб}^{-1}$ , общий интеграл светимости за все сезоны работы ВЭПП-2000 составляет  $60 \text{ пб}^{-1}$  на детектор. На Рис. 5.1.1 показано сравнение светимости ВЭПП-2000 и данных с эксперимента ВаВаг. Видно, что на энергиях, соответствующих  $\phi$ -мезону, наша установка уже опережает статистику ВаВаг, после модернизации для работы с проектными параметрами на высокой энергии мы сможем быстро перекрыть данные ВаВаг.

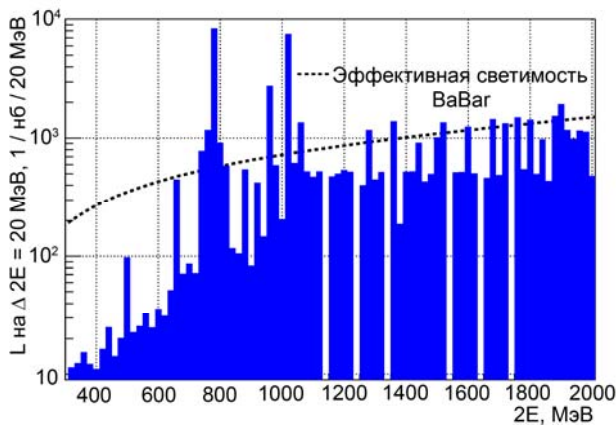


Рис. 5.1.1. Светимость по данным детектора КМД-3.

Кратко перечислим основные этапы работы комплекса в 2013 году. В январе заканчивали эксперимент RHO2013 в диапазоне 490–360 МэВ. Затем был короткий перерыв для измерения 13-го магнита БЭП после его модернизации и калибровки энергии ВЭПП-2000 методом резонансной деполяризации. Февраль–март — поход на низкие энергии, 360–160 МэВ. Апрель–начало мая — работа в диапазоне 440–530 МэВ, май–июнь — диапазон 410–370 МэВ. В конце июня проводился эксперимент ETAPRIME2013 — работа в одной точке 478,89 МэВ с хорошо настроенным режимом, набран значительный интеграл светимости. В конце экспериментального сезона проводилось изучение возможности удлинения сгустка для увеличения светимости. Это стало возможным после

введения в эксплуатацию фи-диссекторов. В августе 2013 года ВЭПП-2000 остановлен на модернизацию.

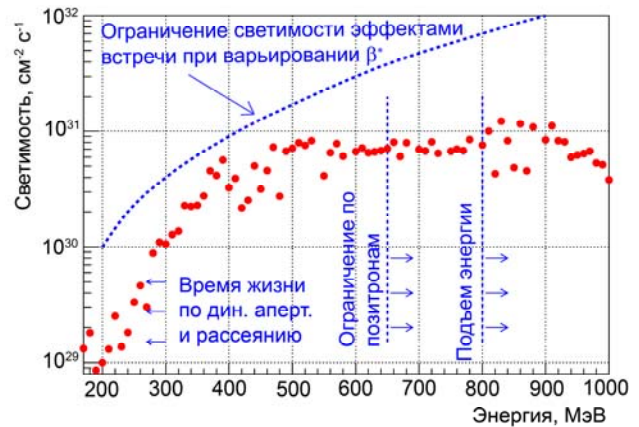


Рис. 5.1.2. Светимость ВЭПП-2000.

Светимость установки (Рис. 5.1.2) ограничена скоростью производства позитронов при энергиях выше 500 МэВ. Выше 800 МэВ дополнительные ограничения накладывает необходимость ускорять пучок непосредственно в кольце ВЭПП-2000. В области средних энергий (300–500 МэВ) пиковая светимость уже ограничена эффектами встречи, в основном эффектом типа флип-флоп.

Начиная с энергий 400–450 МэВ существенное влияние начинает оказывать поле детектора КМД-3: с уменьшением энергии поля магнитных элементов кольца пересчитываются, но поле КМД-3 остается неизменным, и на низких энергиях эффект от такого большого магнитного элемента становится все более заметным. Для компенсации поля КМД-3 нужны большие поля в коротких компенсирующих соленоидах, это приводит к большим коррекциям орбиты в остальном кольце, нарушается симметрия кольца, ухудшается ситуация в инжекционном промежутке. Все это приводит к уменьшению светимости установки.

При низких энергиях из-за слабого радиационного затухания обостряются проблемы с нелинейной динамикой, сокращается динамическая апертура, проявляются резонансы высокого порядка. Кроме того, падает время жизни, обусловленное рассеянием частиц внутри сгустка.

В 2013 году на ВЭПП-2000 было реализовано изменение длин сгустков с точностью 2 мм с помощью установленных на кольцо фи-диссекторов. При этом наблюдался эффект микроволновой неустойчивости пучков, возникающий при столкновении коротких сгустков. Порог появления неустойчивости зависит от выбора ускоряющего напряжения на резонаторе. Микроволновая неустойчивость впервые наблюдалась при измерении продольного размера пучка — хорошо заметен пороговый эффект появления разброса продольного размера (Рис. 5.1.3).

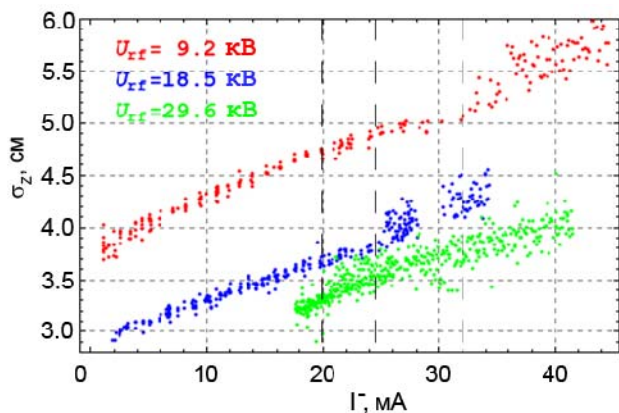


Рис. 5.1.3. Измерение продольного размера пучка фидиссектором при разных токах.

«Достигнутый» параметр встречи определяется следующим образом:

$$\xi_{lumi} = \frac{N^- r_e \beta_{nom}^*}{4\pi\gamma\sigma_{lumi}^{*2}},$$

где значение бета-функции в месте встречи взято номинальное (без учёта возмущения встречным сгустком), а размер пучка — реальный, определяемый из измеряемой экспериментально величины светимости.

На Рис. 5.1.4 приведена корреляция между «достигнутым» и так называемым «номинальным» параметром встречи с использованием полного объёма данных на конкретной энергии 392,5 МэВ. Номинальный параметр встречи определяется как

$$\xi_{nom} = \frac{N^- r_e \beta_{nom}^*}{4\pi\gamma\sigma_{nom}^{*2}},$$

в котором все входящие параметры расчётные, и потому он является мерой тока пучка. Значение достигнутого параметра встречи составляет  $\xi \sim 0,09$  на одно место встречи.

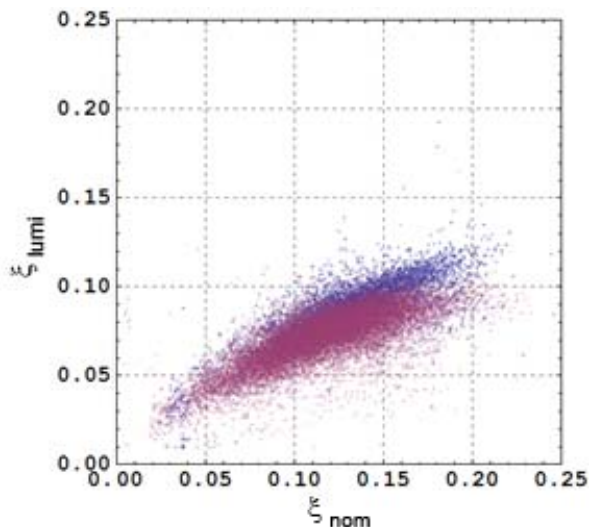


Рис. 5.1.4. Достигнутый параметр встречи на энергии 392,5 МэВ.

При изучении влияния длины сгустка на эффекты встречи было обнаружено, что снижение напряжение ВЧ-резонатора с 30 кВ до 17 кВ позволяет значительно повысить предельное значение параметра встречи вплоть до  $\xi \sim 0,12$  на одно место встречи (Рис. 5.1.4). Вероятно, этот эффект связан с дополнительным подавлением эффектов встречи при длине сгустка слегка превышающей значение бета-функции в месте встречи. В нашем случае удлинение сгустка обеспечивается не только снижением напряжения, но и возникновением микроволновой неустойчивости, которая наблюдалась при низком напряжении и интенсивности сгустка выше определённого порогового значения.

Дополнительно независимо можно определить величину параметра встречи из спектра когерентных колебаний сгустков. На Рис. 5.1.5 хорошо видны две пары  $\sigma$ - и  $\pi$ -мод с бетатронными частотами 0,165 и 0,34 соответственно. Полный сдвиг частоты  $\Delta\nu = 0,165$  соответствует величине параметра встречи на одно место встречи:

$$\xi = \frac{\cos(\pi\nu_\sigma) - \cos(\pi\nu_\pi)}{2\pi \sin(\pi\nu_\sigma)} = 0,124,$$

что неплохо согласуется с величиной, полученной из светимости, и является абсолютным мировым рекордом. В оценке предполагается параметр Yokoуа равный единице, поскольку когерентные колебания малой амплитуды возбуждались быстрым кикером и наблюдались лишь на протяжении 8000 оборотов. За столь короткое время поперечное распределение частиц не успевает деформироваться и остаётся гауссовым.

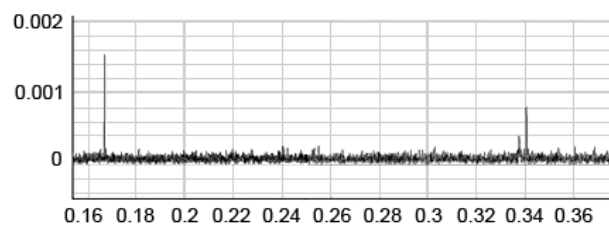


Рис.5.1.5. Спектр когерентных колебаний на энергии 479 МэВ.

На комплексе реализовано три метода измерения энергии: контроль поля в поворотных магнитах по датчикам ЯМР, метод обратного комптоновского рассеяния, который требует больших токов (больше 20 мА, и таким образом не может использоваться на низких энергиях), и метод резонансной деполяризации. В сезоне 2013 года проводилось измерение энергии методом резонансной деполяризации в специальном режиме настройки ВЭПП-2000 — «теплая» оптика без КМД-3 и без соленоидов. Сравнение данных показало хорошее соответствие всех трех методов, что позволяет оперативно контролировать энергию пучков в течение эксперимента.

### 5.1.2. Модернизация БЭП и канал К-500.

Необходимость проведения модернизации ускорительного комплекса ВЭПП-2000 вызвана несколькими факторами. Во-первых — это нехватка позитронов, что не позволяет достичь порога по эффектам встречи. На низких энергиях появляются проблемы, связанные со временем жизни пучков. Это означает, что необходим избыток позитронов из накопителя-охладителя ВЭПП-5. Во-вторых — необходимость подъема энергии пучков в ВЭПП-2000 до энергии эксперимента, так как бустерное кольцо БЭП не способно ускорять пучки выше 800 МэВ. Доускорение в ВЭПП-2000 плохо с точки зрения «мертвого» времени (нет набора статистики), проблем с ускорением интенсивных сгустков. Кроме того, не возможно получить пороговые значения интенсивности пучков при инжекции не на энергии эксперимента.

Модернизация инжекционной части комплекса ВЭПП-2000 для перепусков на энергии 1 ГэВ состоит из нескольких этапов. Во-первых, нужны пучки из инжекционного комплекса ВЭПП-5, для чего нужно построить и ввести в эксплуатацию канал К-500. Требуется модернизация БЭП, чтобы избежать проблем с подъемом и опусканием пучка в ВЭПП-2000. И, конечно, потребуются модернизация канала БЭП-ВЭПП-2000 и подготовка ВЭПП-2000 к инжекции на 1 ГэВ.

В июле 2013 года после окончания очередного экспериментального сезона работы комплекс ВЭПП-2000 был остановлен на модернизацию. Перед остановкой в течении двух лет был проведен большой объем подготовительной работы.

На канале К-500 в настоящий момент завершен монтаж и произведена предварительная геодезическая выставка всех магнитных элементов: 4 горизонтальных магнита, 4 импульсных магнита подъема, 55 импульсных квадрупольей, доворачивающий и впускной в БЭП магниты, 27+12 дипольных корректоров, 23 пикапа и 12 люминофорных датчиков. Изготовлены и готовы для установки на канал источники питания, весь комплект электроники для датчиков. Вакуумная камера канала собрана, произведена откачка.



Рис. 5.1.6. Подъем инжекционного канала К-500.

На Рис. 5.1.6 (участок подъема в зал БЭП) можно видеть собранную вакуумную систему, установленные линзы, магниты, кабели проведены и подключены. Проработано общее управление и концепция взаимодействия инжекционного комплекса, канала и ВЭПП-2000.

Был изготовлен новый впускной магнит ( $H = 17,5$  кГс,  $L_{эфф} = 42,8$  см,  $R_{кр} = 980$  мм,  $\varnothing 9$  мм).

Осуществлена доработка поворотных магнитов: изменение межполюсного зазора 40 мм  $\rightarrow$  32 мм; заужение полюса 120 мм  $\rightarrow$  90 мм; установка на внутреннем радиусе ярма магнитопровода пластин толщиной 50 мм. В итоге получено магнитное поле 26 кГс, необходимое для энергии 1 ГэВ.

Проведена доработка квадрупольных линз уменьшением вписанного диаметра (D-линза: 56 мм  $\rightarrow$  52,89 мм, F-линза: 84 мм  $\rightarrow$  74,8 мм); изменение профиля полюсов для увеличения хроматической секступольной составляющей магнитного поля. На энергии 1 ГэВ градиенты в линзах будут 3,214 кГс/см и 4,512 кГс/см.

Доработана алюминиевая вакуумная камера в магнитах и квадрупольях. Прессованием уменьшается вертикальный размер камеры в области дипольного магнита и в месте расположения D-квадруполья.

Сделана замена вакуумных объёмов в двух прямолинейных промежутках на простые эллиптические вакуумные камеры (с приёмником СИ и портом вакуумной откачки), и установка в этих промежутках двух специальных С-образных шихтованных длинно импульсных магнитов, создающих 25 мм искажение горизонтальной орбиты перед выпуском пучка (так называемый элемент «BUMP»).

Поскольку основные магнитные элементы БЭП питаются от одного мощного сильноточного источника (10 кА), а высокие значения магнитного поля в них ведут к сильному насыщению железа, при расчёте особое внимание было уделено одинаковости кривых насыщения всех мультиполей. Для примера, на Рис. 5.1.7 красная линия показывает отличие кривой насыщения D-линзы от кривой насыщения дипольного магнита, в относительных единицах. Зелёные линии задают «коридор», доступный для поправки корректирующими катушками в линзе, в который необходимо «вписать» кривую.

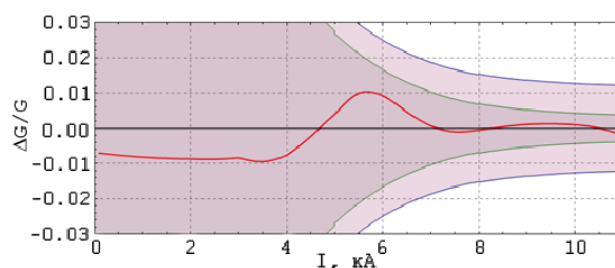


Рис. 5.1.7. Наложение кривых насыщения дипольного магнита и квадруполья.

На Рис. 5.1.8 показан модернизированный магнит на стенде магнитных измерений. Результаты измерений датчиком ЯМР и линейкой датчиков Холла представлены на Рис.5.1.9, 5.1.10.



Рис. 5.1.8. Новый магнит БЭП.

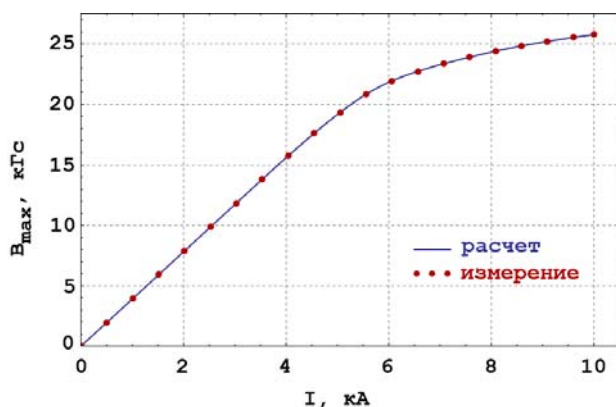


Рис. 5.1.9. Измерения дипольного магнита датчиком ЯМР.

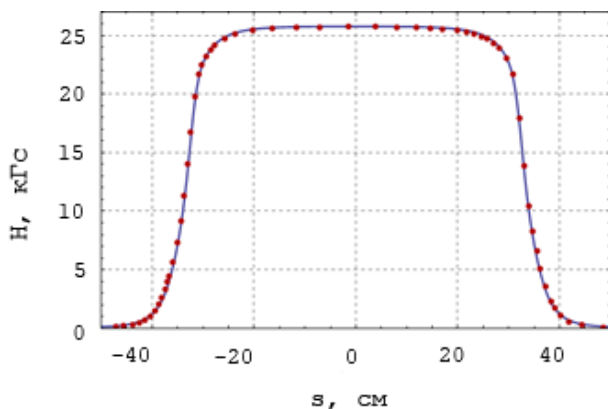


Рис. 5.1.10. Измерение дипольного магнита датчиками Холла, ток питания 9,9 кА.

В канале БЭП–ВЭПП-2000 будут заменены магниты М2, М3, МР4, МЕ4, МР5, МЕ5, питаемые последовательно с магнитными элементами БЭП, где магнитное поле также необходимо иметь 26 кГс. В кольце ВЭПП-2000 для инжекции на максимальной энергии необходимо установить дополнительные пластины инфлекторов в вакуумные камеры магнитов 1М2, 2М2. При инжекции, например, электронов генератор электронного предудара работает на пластину 3М2, генератор электронного удара – на 4М2, а генератор позитронного удара (противоположной полярности) с помощью дополнительного коммутатора работает на пластину 1М2.

Новая ВЧ система БЭП предполагает работу 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. Параметры резонатора приведены в Табл. 5.1.1.

Таблица 5.1.1. Параметры резонатора БЭП

Номер гармоники	13
Рабочая частота, МГц	174,3755
Характеристическое сопротивление $\rho r^2$ , Ом	127
Собственная добротность	14900
Ускоряющее напряжение, кВ	112
Мощность в пучок, кВт	6,9
Потери мощности в резонаторе, кВт	3,5
Общая мощность, кВт	10,4

В 2013 году резонатор был получен из экспериментального производства, проведены измерения ВЧ параметров рабочей и высших (до 1500 МГц) мод резонатора. В настоящее время новый резонатор установлен на кольце БЭП (Рис. 5.1.11), прогрет, откачан.

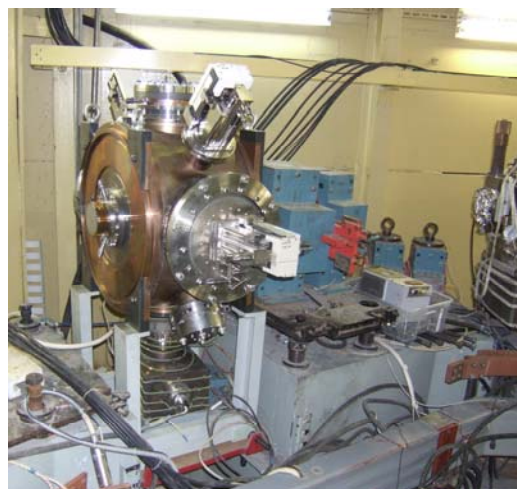


Рис. 5.1.11. Новый резонатор БЭП.



## 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 2013 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 2013 год.

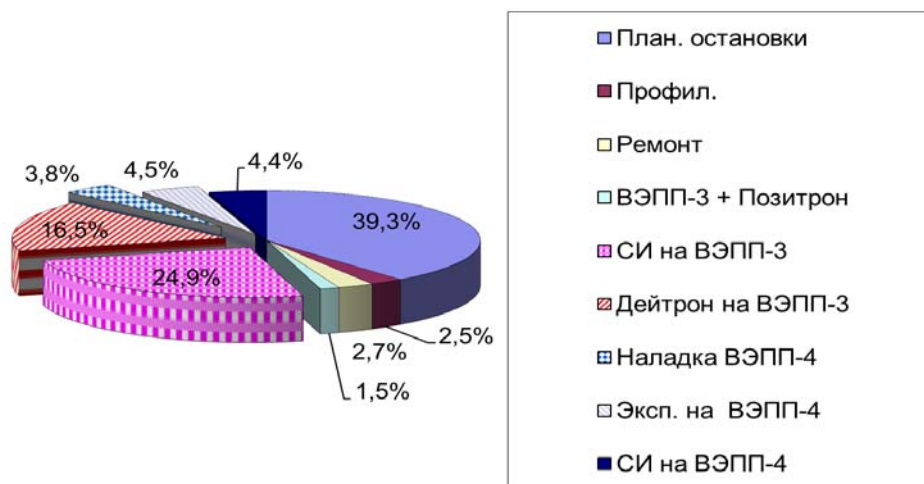


Рис. 5.2.1. Распределение рабочего времени на комплексе ВЭПП-4.

Как видно на рисунке, в этом году рабочее время комплекса распределено главным образом между экспериментами с использованием синхротронного излучения (24,9 % ВЭПП-3 + 4,4 % ВЭПП-4М), а также экспериментом ДЕЙТРОН на ВЭПП-3 (16,5%). Регулярные профилактические работы (2,5%) выполняются еженедельно. Эксперименты по ускорительной физике на ВЭПП-4М проводились в целях повышения светимости коллайдера и развития исследований по проверке СРТ-инвариантности. На ВЭПП-4М продолжен также цикл экспериментов с пучком высокоэнергичных  $\gamma$ -квантов, полученных конверсией на внутренней мишени («выведенный пучок»).

### 5.2.2. Эксперимент ДЕЙТРОН на ВЭПП-3.

В 2013 году на установке "Дейтрон" на ВЭПП-3 было выполнено два цикла работ:

1. Проведен эксперимент по измерению тензорной асимметрии  $T_{20}$  в реакции когерентного фоторождения нейтрального пи-мезона на дейтроне. Работы велись в марте-июле 2013 года (рис. 5.2.2). После периода установки, сборки, запуска и настройки оборудования поляризованной газовой мишени и детектирующей аппаратуры системы регистрации частиц был выполнен набор экспериментальных данных (с середины мая по середину июля). Работа велась на

энергии электронного пучка 2 ГэВ, в режиме разделения времени с потребителями СИ. В результате набран интеграл тока пучка 154 килоКулона, что соответствует запланированному значению интеграла светимости 30 обратных пикобарн.

2. Выполнено первое тестовое включение нового оборудования установки "Дейтрон", Системы Мечения квази-реальных Фотонов (СМФ). Работа заключается в замене существующего экспериментального промежутка на новый, существенно переработанный вариант, в котором, помимо накопительной ячейки, элементов вакуумной откачки и квадрупольных линз, включены три новых дипольных магнита и система регистрации рассеянных электронов. В августе-сентябре промежуток СМФ был установлен и смонтирован на ВЭПП-3, а затем была успешно выполнена настройка режимов накопления и ускорения как электронов, так и позитронов для этой новой конфигурации магнитных элементов накопителя ВЭПП-3. Кроме этого были изучены условия работы элементов детекторов частиц СМФ с водородной мишенью и пучком электронов/позитронов с энергией 600 МэВ.

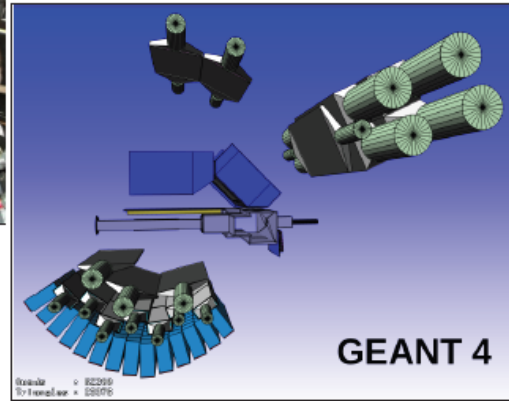
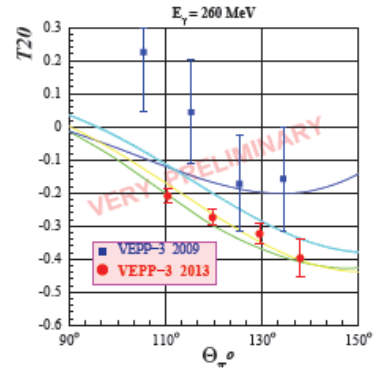
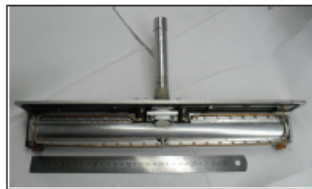


Рис. 5.2.2. Измерение  $T_{20}$  в реакции  $\gamma+d \rightarrow \pi^0+d$

### 5.2.3. Эксперимент по проверке СРТ-инвариантности

Продолжено исследование эффективности метода ВЧ разведения электронного и позитронного сгустков в паразитном месте встречи коллайдера ВЭПП-4М - в центре его технического промежутка.

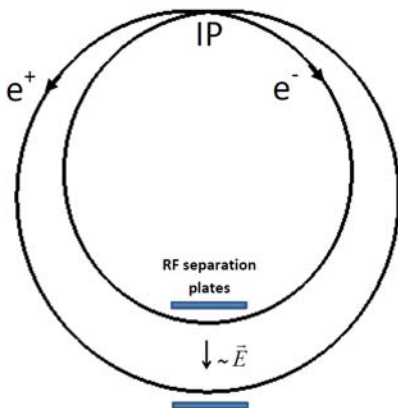


Рис. 5.2.3. Условный вид единой для электронов и позитронов двухоборотной орбиты, отображаемый плоской алгебраической кривой 4-ого порядка, известной как “Улитка Паскаля”. IP – основное место встречи; RF separation plates – пластины радиального разведения орбит с переменным напряжением на частоте, равной половине частоты обращения.

Традиционная электростатическая система разведения орбит, применяемая нами для аналогичных целей в экспериментах по физике высоких энергий с детектором КЕДР, является принципиально необходимым средством для обеспечения устойчивости встречных электрон-позитронных пучков. При её выключении, т.е. при сведении пучков в паразитном месте встречи, пучки вымирают до неприемлемо низкого уровня по току и раздуваются. В таких условиях становится невозможным проведение на ВЭПП-4М эксперимента по прецизионной проверке СРТ инвариантности путем сравнения спиновых частот электронов и позитронов, поскольку наблюдение поляризации осуществляется по спиновой зависимости внутривидового рассеяния (Гушек-эффекта), зависящего от интенсивности пучков и их размеров. В то же время, как подтвердили наши методические эксперименты, использование электростатических полей для разведения орбит приводит к систематической относительной ошибке СРТ-эксперимента порядка  $10^{-6}$  при требуемой  $10^{-9}$ .

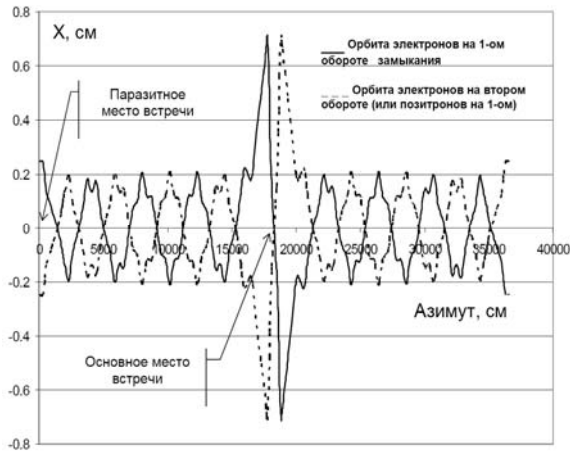


Рис. 5.2.4. Расчетная орбита при ВЧ разведении как функция азимута.  $E=1,85$  ГэВ; амплитуда напряжения на пластинах - 5 кВ; разведение орбит в центре технического промежутка 5 мм. Хотя её вид существенно отличен от идеализированной двухпетельной орбиты – “улитки” на Рис. 5.2.3, в главном они не противоречат друг другу. Двухоборотная орбита предполагает существование двух её “петель”, каждая из которых переходит в другую через один оборот на произвольно выбранном азимуте.

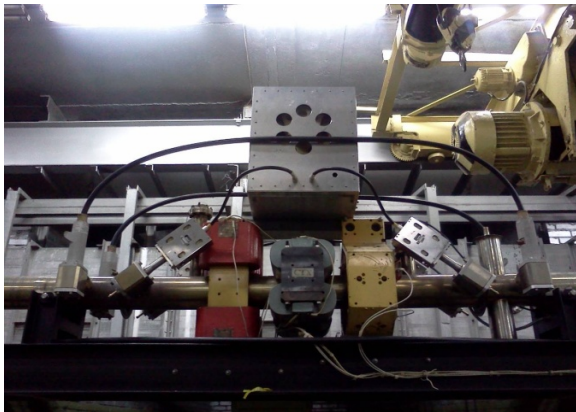


Рис. 5.2.5. Размещение блока резонансного контура и его подключения к пластинам разведения орбит в техническом промежутке коллайдера ВЭПП-4М.

С целью преодолеть эту трудность было предложено разводить пучки в указанном месте путем воздействия на них ВЧ электрическим полем, направленным по горизонтали и имеющим частоту, равную половине частоты обращения частиц в ускорителе. ВЧ напряжение подается на проводящие пластины, расположенные на участке разведения. В этом случае электроны и позитроны движутся по одной и той же орбите, которая замыкается через два оборота (Рис. 5.2.3). Так как орбита в магнитных полях у электронов и позитронов одинаковая, систематическая ошибка, связанная с разницей интегралов поля вдоль орбиты, минимизируется. Метод был обоснован расчетом орбиты (рис.5.2.4), моделированием эффектов

встречи и оценками возможных погрешностей.

Экспериментальная проверка идеи двухоборотной орбиты для разведения встречных пучков была начата в конце 2012 года и продолжена в 2013 (рис. 5.2.6). Наблюдение за орбитами осуществлялось по изображению пучка в поперечном сечении на мониторах синхротронного излучения (СИ) и системой из двух “быстрых” пикап-станций, измеряющих положение сгустков за один пролет. В эксперименте с одним циркулирующим электронным сгустком в кольце ВЭПП-4М было установлено, что возникающее возмущение орбиты при включении ВЧ разведения в целом соответствует расчёту (рис. 5.2.5).



Рис. 5.2.6. Изображение электронного сгустка с энергией 1,85 ГэВ на мониторе СИ при амплитуде напряжения на пластинах ВЧ разведения около 6,5 кВ. Радиальная бетатронная частота  $Q_x=0,53$ . Между положениями орбиты сгустка около 7 мм (на азимуте монитора  $\beta_x=1200$  см). Монитор работает в непрерывном режиме, поэтому орбита, замыкающаяся через два оборота, представлена двумя изображениями одного и того же сгустка.

В 2013 году была сделана более точная калибровка разведения по измерению орбиты с помощью “быстрых” пикап-станций, расположенных в экспериментальном промежутке. На рис. 5.2.7 приведены данные о горизонтальной координате каждого из 2-х электронных сгустков в эксперименте с включенной системой ВЧ разведения. Данные представляют собой массив из 8000 измерений в течение 20 мсек с прореживанием. Распределение по x-координате вследствие эффекта двухоборотной орбиты показывает наличие двух пиков для каждого сгустка. Уширение пиков порядка 100 мкм вызвано пульсациями ведущего поля. Соответствующие пики сгустков немного отличаются по средним положениям из-за не совсем точной настройки фазы ВЧ сигнала на пластинах. Регулировка фазы позволяет реализовать случай, когда один из электронных сгустков движется по обычной однооборотной орбите, в то время как другой – по двухоборотной. В 2013 году был поставлен эксперимент по прецизионному сравнению энергий сгустков в указанном случае с применением метода резонансной деполяризации. В эксперименте измеренные энергии сгустков совпали с точностью  $10^{-6}$  в соответствии с теоретически обоснованным свойством ВЧ разведения орбит.

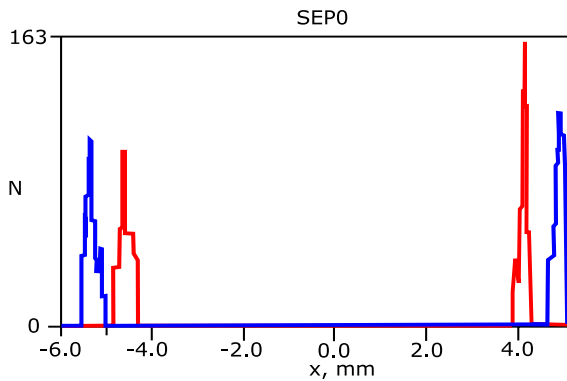


Рис. 5.2.7. Измеренное распределение положения двух-оборотной орбиты по горизонтали в эксперименте с двумя электронными сгустками ( $\beta_x=4200$  см на азимуте пикапа SEPO). Расстояние между крайними положениями орбиты - 10,2 мм. По расчету при  $U=5,4$  кВ это отвечает разведению: на азимуте монитора СИ ( $\beta_x=1200$  см) - 5,5 мм, в паразитном месте встречи ( $\beta_x=1050$  см) - 5,1 мм. Разведение полностью выключено.

В 2013 году был проведен наиболее важный для проверки системы эксперимент – со встречными пучками. Для этого был разработан и внедрен электронный блок дополнительного сдвига фазы инжекции пучка с тем, чтобы электроны и позитроны при прохождении пластин системы ВЧ разведения двигались по разным “петлям” двухоборотной орбиты. Электронный сгусток с током 2,5 мА, что близко к критическому значению по эффектам встречи, и 0,14 мА позитронный сгусток были разведены с помощью ВЧ системы в паразитном месте встречи, а с помощью обычной электростатической системы – в основном месте встречи. При этом время жизни пучков было приемлемое. При токах 1,1 мА (электроны) и 0,3 мА (позитроны) эффекты встречи никак не проявились, хотя электростатическая система разведения в отличие от её ВЧ аналога была полностью выключена (Рис. 5.2.8).



Рис. 5.2.8. Изображения 1,1 мА пучка электронов (слева) и 0,3 мА пучка позитронов (справа) на мониторах СИ при включенном ВЧ разведении с амплитудой напряжения на пластинах 6,5 кВ. Система электростатического разведения полностью выключена.

#### 5.2.4. Способ повышения светимости коллайдера ВЭПП-4М на низкой энергии.

Светимость для коллайдера с плоскими встречными пучками, куда относится и ВЭПП-4М, можно записать следующим образом:

$$L = \frac{\gamma}{2e r_e} \frac{I \xi_y}{\beta_y^*}$$

где сдвиги бетатронных частот равны:

$$\xi_x = \frac{N r_e}{2\pi\gamma} \cdot \frac{\beta_x^*}{\sigma_x^2} \quad \xi_y = \frac{N r_e}{2\pi\gamma} \cdot \frac{\beta_y^*}{\sigma_y^* \cdot \sigma_x}$$

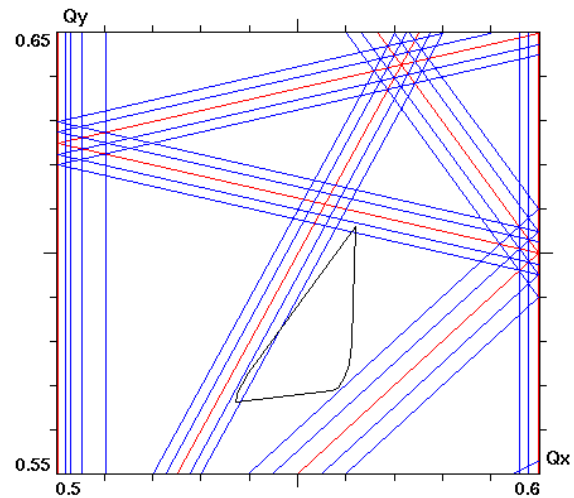


Рис. 5.2.9. Бетатронные резонансы до 6-го порядка (красные линии) и их синхро-бетатронные сателлиты (синие линии). Чёрным треугольником показан футпринт – разброс частот в пучке.

На рисунке 5.2.9 показана рабочая точка ВЭПП-4М и соответствующий ей футпринт в плоскости бетатронных частот. Ширина и высота футпринта примерно соответствуют значениям  $\xi_x$ ,  $\xi_y$ . При этом, в заданной магнитной структуре,  $\xi_x$  определяется только током пучка, а  $\xi_y$  зависит также от вертикального размера пучка в IP, который зависит от бетатронной связи и эффектов встречи.

Другими словами, предельный ток определяется максимально допустимой шириной футпринта. Если бы в IP не было дисперсии, то  $\xi_x$  не зависело бы от  $\beta_x$ . Но в ВЭПП-4М дисперсия в IP довольно большая, и именно она даёт основной вклад в полный горизонтальный размер пучка:

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_{x\beta}^2 + \sigma_{xs}^2} = \sigma_{x\beta} \sqrt{1 + \lambda_m^2}$$

$$\lambda_m = \frac{\sigma_{xs}}{\sigma_{x\beta}} = \frac{\eta_x \sigma_E}{\sqrt{\epsilon_x} \beta_x}$$

где  $\lambda_m$  (т.н. параметр монохроматизации) для ВЭПП-4М равен примерно 1,8.

Если уменьшить  $\beta_x$  в IP таким образом, чтобы  $\sigma_x$  не изменилось (то есть надо сделать это так, чтобы  $\eta_x$  не уменьшилось, а наоборот – немного выросло), то  $\xi_x$  также уменьшится. И это позволит во столько же раз поднять предельный ток, а значит и светимость. Дополнительным бонусом от увеличения параметра  $\lambda_m$  будет подавление резонансов связи, что позволит несколько увеличить предельный сдвиг частоты  $\xi_y$ .

Нами был найден вариант модификации магнитной структуры ВЭПП-4М в экспериментальном промежутке (вблизи IP), при котором  $\beta_x$  в месте встречи уменьшается в 2-3 раза, а полный горизонтальный размер пучка  $\sigma_x$  остаётся неизменным. При этом максимум  $\beta_x$  в ближайших к IP линзах вырастает во столько же раз. Но на низкой энергии, где эмиттанс относительно небольшой, апертура в этих линзах остаётся достаточной (в единицах  $\sigma_x$  на этом азимуте) и не должна ограничивать время жизни пучка.

Таким образом, у нас имеется возможность достаточно простым способом поднять светимость ВЭПП-4М в 2-3 раза на низкой (1,5 – 2,0 ГэВ) энергии. Уменьшение  $\beta_x$  в месте встречи планируется делать поэтапно (постепенно), каждый раз настраивая и оптимизируя светимость, и отслеживая увеличение предельного тока и  $\xi_y$ . Немалый интерес здесь представляет и просто изучение эффектов встречи в схеме с большой дисперсией в IP, и влияние параметра монохроматизации  $\lambda_m$  на подавление резонансов связи.

Экспериментальная проверка изложенных выше идей проводилась на протяжении декабря, после длительной остановки ВЭПП-4М с ограниченным набором работавших диагностик. Предварительные результаты представлены на рисунках 5.2.10 и 5.2.11. В будущем планируется продолжение работ в этом направлении.

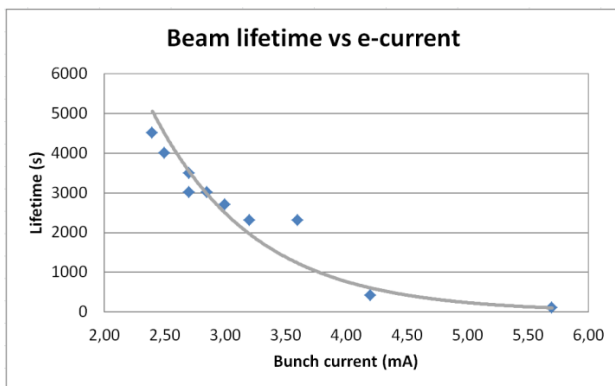


Рис. 5.2.10. Время жизни пучков в режиме светимости в зависимости от тока электронного пучка.

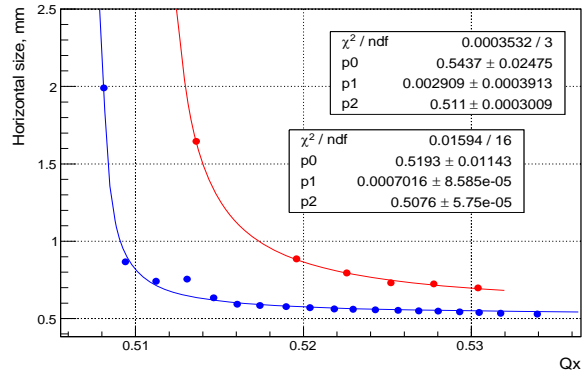


Рис. 5.2.11. Горизонтальный размер электронного пучка в зависимости от бетатронной частоты  $Q_x$ .

### 5.2.5. Работы по модернизации комплекса ВЭПП-4

**Система термоконтроля.** Система термоконтроля распространена на инжекционную часть установки, новую «змею» для генерации СИ и тепловой насос (рис. 5.2.12).

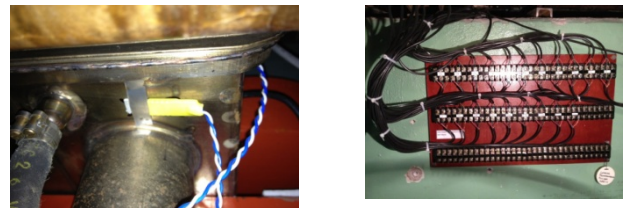


Рис. 5.2.12. Элементы системы термоконтроля.

Канал от инжекционного комплекса к ВЭПП-3. Закончен участок подъема электронно-оптического канала от инжекционного комплекса к ВЭПП-3 (рис. 5.2.13). Собраны и выставлены магниты М5 и М6, подключены по питанию и воде. Готов к установке новый впускной магнит. Собраны 14 каналов стоек питания импульсных элементов.



Рис. 5.2.13. Участок подъема инжекционного канала к ВЭПП-3.

*Стабилизация поля магнитов ВЭПП-4М.* В результате модернизации ЦАПов, управляющих мощными источниками питания, практически устранен медленный дрейф магнитов и в 1,5 – 2 раза уменьшены шумы в полосе до 1Гц (рис. 5.2.14).

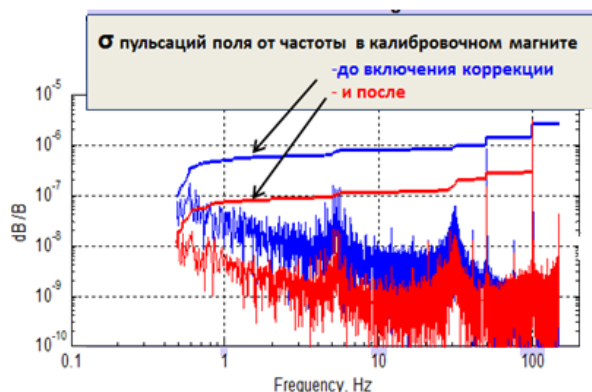


Рис. 5.2.14. Дисперсия пульсаций частоты поля калибровочного магнита ВЭПП-4М до и после включения коррекции.

*Модернизация системы пикапов ВЭПП-3, ВЭПП4М.* В 2013 году проведена частичная замена электроники пикап-станций. На ВЭПП-3 заменено 7 из 19 пикапов, на ВЭПП-4-18 из 54 пикапов. В результате точность измерений орбиты пикап-электродами существенно возросла (табл. 5.2.1).

Таблица 5.2.1.

Параметры пикап-электродов после модернизации

Параметр	Ед. изм.	Величина
Разрешение по-оборотных измерений	мкм	30 / (ток пучка в мА)
Разрешение медленных измерений при токе пучка более 1 мА	мкм	3-8
Зависимость результата от тока пучка в диапазоне токов 0,5-20 мА (для каждого сгустка)	мкм	40-80
Температурная зависимость результата измерения	мкм/градус	1-2

Новые пикапы характеризуют:

- Способность измерять отдельно положение сгустков электронов и позитронов вблизи мест встречи.
- Наличие полноценных пооборотных измерений для каждого пикапа.
- Более высокое разрешение измерений.
- Отсутствие электромеханических ключей (герконов), имеющих ограниченный ресурс.

### 5.3. ИНЖЕКЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ВЭПП – 5

В 2013 году проводились работы по физическому запуску инжекционного комплекса с позитронами и электронами. Были получены электронные и позитронные пучки на выходе линейных ускорителей, первичная настройка линейных ускорителей позволила поднять энергию пучков на выходе линейных ускорителей до рабочих значений. Произведен захват и накопление пучка в накопителе-охладителе.

Были полностью проверены и запущены в работу магнитная система и система диагностики пучка накопителя-охладителя. Было налажено измерение бетатронных частот в накопителе охладителе. Выполнена корректировка орбиты и оптики при работе с электронным пучком, что позволило значительно увеличить доступную апертуру и захват пучка в накопителе-охладителе.

Были проведены пробные выпуски электронного пучка из накопителя-охладителя при помощи локального искажения орбиты и выпускного кикера.

Для улучшения точности и надежности систем диагностики была разработана новая электроника для измерения положения пучка в линейных ускорителях и накопителе-охладителе (пикап-станции). Комплект электроники для линейного ускорителя полностью готов и в настоящий момент внедряется на ускорителе. Для накопителя-охладителя изготовлен опытный образец пикап-станции, и проводятся его испытания.

Была существенно изменена система синхронизации комплекса, развязано тактирование ВЧ-системы линейного ускорителя с запусками пучка. Это позволило существенно снизить радиационную нагрузку на линейные ускорители при их настройке без изменения тепловых режимов. Данная переделка также включает в себя необходимые для работы с потребителями пучка изменения.

### 5.4. ЗАПУСК БУСТЕРА NSLS - II

Контракт на создание бустера для синхротрона NSLS-II, создаваемого в Brookhaven National Laboratory (BNL), USA, был подписан в мае 2010 года. Основные параметры бустера приведены в таблице 5.3.1.

В 2012 году все компоненты бустера были поставлены и собраны в BNL. И были проведены испытания всех систем перед запуском. Начавшаяся в BNL в 2012 году кампания по повышению безопасности труда привела к отсрочке запуска бустера на год. Это время было использовано для проведения дополнительных расширенных интеграционных испытаний всех систем бустера с целью повышения их надежности и написание программного обеспечения верхнего уровня.

Таблица 5.3.1. Проектные параметры бустера

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



Рис. 5.3.1. Третья арка собранного кольца бустера.

В декабре 2013 года было дано разрешение на запуск бустера. До Нового года был получен циркулирующий пучок и осуществлен его подъем на проектную энергию 3 ГэВ.

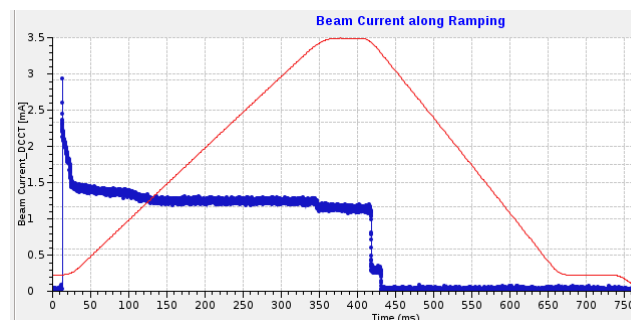


Рис. 5.3.2. Достигнута энергия 3 ГэВ. Красная линия – ток в дипольных магнитах (1Гц), синяя линия – ток в бустере.

## 5.5. ЛИНЕЙНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ЛИУ – 20P

В рамках работ по созданию линейного индукционного ускорителя ЛИУ-20P, обеспечивающего работу перспективного рентгенографического комплекса РФЯЦ ВНИИТФ в прошедшем году были начаты работы по созданию опытных образцов – испытательных стендов ускоряющего и отклоняющего модулей установки ЛИУ-20.

По договору о создании опытного образца - испытательного стенда ускоряющего модуля установки ЛИУ-20 были выполнены следующие работы.

Предложена схема модулятора для питания индукторов в режиме серии из двух импульсов с регулируемым интервалом времени между импульсами, начиная от 2 мкс. Рассмотрены варианты емкостных накопителей энергии со свойствами формирующих линий, а также варианты высоковольтных сильноточных коммутаторов для использования в импульсном модуляторе, разработана конструкция импульсного модулятора.

Создан испытательный стенд, служащий для тестирования основополагающих элементов системы импульсного питания индукторов.

Для завершения разработки системы импульсного питания ускоряющего модуля потребуются проведение дополнительных, более глубоких практических исследований импульсных свойств схемы питания в целом, а также отдельных ее компонентов. В первую очередь необходимо проверить импульсные характеристики формирующих линий, изучить работу водородных тиратронов в режиме восстановления электрической прочности по обратному напряжению за времена порядка сотен наносекунд. В результате проведенных исследований потребуются детальная проработка конструкции импульсного модулятора. Также для проверки свойств системы питания крайне важным условием является доработка испытательного стенда и разработка нагрузки, позволяющей имитировать комплексную токовую нагрузку электронного пучка.

Для регулярной структуры ускорителя ЛИУ-20 разработана конструкция ускоряющего модуля. В качестве магнитопроводов индукторов предполагается использовать ленточные кольцевые магнитопроводы из аморфного сплава 2НСР. Для получения необходимых малых потерь на перемагничивание лента должна иметь изоляционное покрытие с достаточной электрической прочностью и, в свою очередь, не ухудшать магнитные свойства материала. Технология производства таких магнитопроводов, разработанная в МРТИ, позволяет изготовить необходимое количество магнитопроводов для ускорителя ЛИУ-20.

Подготовлены данные для конструирования элементов короткой ускоряющей секции (проведены расчеты электрической прочности, оценка паразитных параметров индукторов). Конструирование и на-

чало производства ускоряющей секции запланировано на 2014 год.

В рамках работ по электронно-оптической системе ЛИУ-20 для оценок прироста эмиттанса пучка на элементах ЛИУ-20 и оценки влияния эмиттанса пучка на его огибающую были разработаны 2 программных продукта: “Emittance” и “Envelope”, с помощью которых были проведены все расчеты, необходимые для разработки электронно-оптической системы ЛИУ.

Для контроля положения элементов магнитной системы ЛИУ-20 предполагается использовать комбинированную систему измерения горизонтальных и вертикальных смещений элементов, основанную на использовании гидростатической системы измерения уровня и системы с натянутой нитью. В настоящее время имеются разработанные ранее и использованные в работе на других установках похожие системы контроля. Опыт использования таких систем для контроля положения элементов ускорителей, а также имеющиеся схемные и конструктивные решения дают основания утверждать, что при необходимой доработке эти решения могут быть адаптированы для контроля положения элементов магнитной системы ЛИУ-20.

По договору о создании опытного образца - испытательного стенда отклоняющего модуля установки ЛИУ-20 были выполнены следующие работы.

Моделирование движения частиц в магнитных элементах системы показали, что, с точки зрения фундаментальных физических явлений, нет принципиальных ограничений, исключающих возможность создания отклоняющих модулей для пучка электронов заявленных параметров. На данном этапе разработан концепт, позволяющий создание прототипа для кикера.

Для септума и дипольного магнита с регулируемой квадрупольной компонентой требуется выполнить дополнительные исследования по оптимизации геометрии для обеспечения магнитных полей достаточного качества в соответствии с разработанными техническими заданиями.

## 5.6. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА

### 5.6.1. Эксперименты на «Стенде электронно-лучевой сварки».

На «Стенде электронно-лучевой сварки» совместно с Институтом геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН проведено моделирование процесса плавления электронным пучком породных аналогов метеоритов и газового и капельного разнеса продуктов плавления таких пород. Наблюдаемые после закалки структурные и вещественные зоны теплового воздействия электронного пучка аналогичны таковым во фрагментах распада Челябинского болида, которые находятся в Минералогическом музее ИГМ СО РАН.



Существенно то, что исследованные с помощью электронного микроскопа границы зоны плавления и плёнки расплава идентичны реальным структурам границ плавления в исследованных фрагментах данного каменного метеорита. Изучение состава капель расплава на стеклянных и металлических пластинах, полученных при нагреве электронным пучком, показало их сходство со стекловатыми каплями, собранными на местах разноса продуктов распада болида в снежном покрове сотрудниками ИГМ СО РАН. Эти наблюдения позволили сформулировать математическую модель процесса плавления каменных метеоритов, для которой разрабатывается численная схема описания динамики сгорания твердых фрагментов космических тел, входящих в атмосферу Земли.

Проведены тестовые эксперименты с целью выявления возможностей «Стенда электронно-лучевой сварки» для исследования механизмов извлечения из реальных пород продуктов частичного и полного плавления в массивных образцах главных типов пород, слагающих глубокие горизонты континентальной мантии под кратоном Сибири.

На стенде также проводились эксперименты по применению электронного пучка совместно со студентами Новосибирского государственного университета. В результате были выполнены курсовые проекты и оформлено заявление о выдаче патента РФ на изобретение «Способ электронно-лучевой сварки немагнитных металлов и сплавов».

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

На «Установке электронно-лучевой сварки», расположенной в 14-ом здании ИЯФ, были продолжены работы по проекту МНТЦ №4022 «Разработка вакуумной системы и технологии её производства для электрон-позитронных коллайдеров высокой интенсивности»:

1. Разработана система визуализации и наведения пучка по вторичным электронам, предназначенная для поиска траектории шва.

Для этого изготовлен электронный блок визуализации и наведения пучка, который предназначен для наблюдения поверхности свариваемого изделия при подготовке к процессу сварки и внесения необходимых коррекций в положение электронного пучка в процессе сварки.

Для наблюдения поверхности блок переводится в режим генерации одномерной (для перемещаемого или вращающегося изделия) или двумерной развертки (для неподвижного изделия) пучка электронной пушки, работающей на малом (~100 мкА) токе. Образующиеся на поверхности вторично-эмиссионные и рассеянные электроны оседают на электрод-коллектор,

возникающий ток усиливается специальным усилителем, а соответствующий сигнал подается на вход аналого-цифрового преобразователя блока визуализации и наведения.

Разработан предварительный вариант микропрограммных управляющих кодов для блока визуализации и наведения. Разработанные коды загружены в постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) блока. Проведены два этапа проверки работы блока с загруженными микропрограммами как в автономном режиме, так и совместно с управляющей ЭВМ и тестовой программой.

2. Разработано программное обеспечение системы управления процессом электронно-лучевой сварки, которое построено по так называемой 3-уровневой модели:

- нижний уровень – драйверы устройств,
- верхний уровень – прикладное и операторское ПО,
- средний уровень – связующий, обеспечивает передачу данных между прикладными программами и аппаратурой.

3. Из двух модулей линейного перемещения типа СТМТ-1 производства компании ЗАО "Сервотехника" изготовлена и смонтирована система перемещения свариваемой детали без механизма вращения детали.

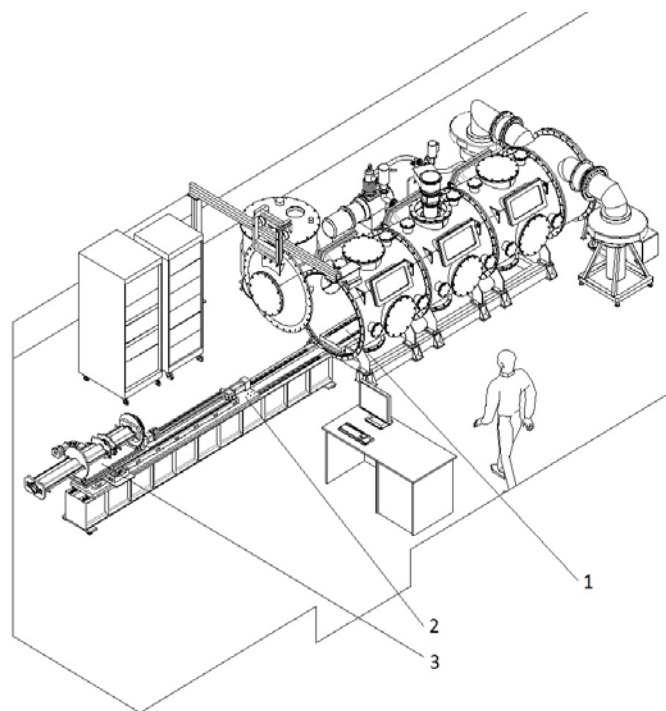


Рис. 5.6.1. Схема установки электроннолучевой сварки. 1 – нижняя неподвижная платформа; 2 – верхняя подвижная платформа; 3 – механизм вращения свариваемой детали вокруг его продольной оси и модули линейного перемещения.

Таблица 5.6.1. Основные параметры модулей линейного перемещения СТМТ-1.

№ п/п	Название параметра модуля	Модуля продольного перемещения	Модуля поперечного перемещения
1.	Минимально возможный ход, мм	70	
2.	Максимально возможный ход, мм	1930	310
3.	Точность позиционирования, мм	+/- 0,05	
4.	Повторяемость позиционирования, мм	+/- 0,02	

На поперечном модуле линейного перемещения устанавливается механизм вращения свариваемой детали. Так обеспечивается перемещение свариваемой детали в плоскости и вращение её вокруг продольной оси.



Рис. 5.6.2. Двухкоординатный механизм перемещения свариваемой детали.

4. Произведена замена вакуумной откачки рабочей камеры двумя паромасленными диффузионными насосами на откачку двумя более вакуумно чистыми современными турбомолекулярными насосами производительностью по 1400 л/с каждый.

Также на «Установке электронно-лучевой сварки» были проведены совместные эксперименты с коллегами из Италии (LNL, INFN). Эксперименты заключались в определении работоспособности защитного устройства для мишени деления установки SPIRAL-2 (Франция). Защитное окно представляло из себя пластину из тантала. Были определены времена сплошного прожига пластины при различных параметрах электронного пучка.



Рис. 5.6.3. Система вакуумной откачки «Установки электронно-лучевой сварки».

## 5.7. 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. 5.7.1).

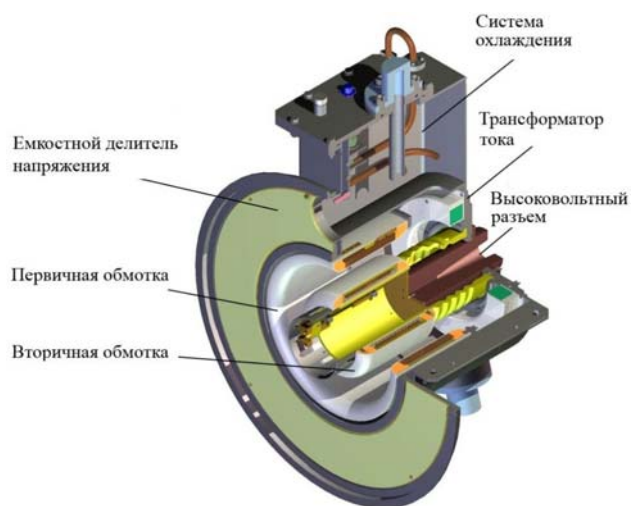


Рис. 5.7.1. Трехмерный вид Соединительного модуля.

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 период с мая 2012 по ноябрь 2013 года ИЯФ СО РАН поставил в DESY 27 комплектов Соединительных модулей. Большая часть Соединительных модулей успешно прошла испытания на испытательных стендах DESY (см. Рис. 5.7.2).

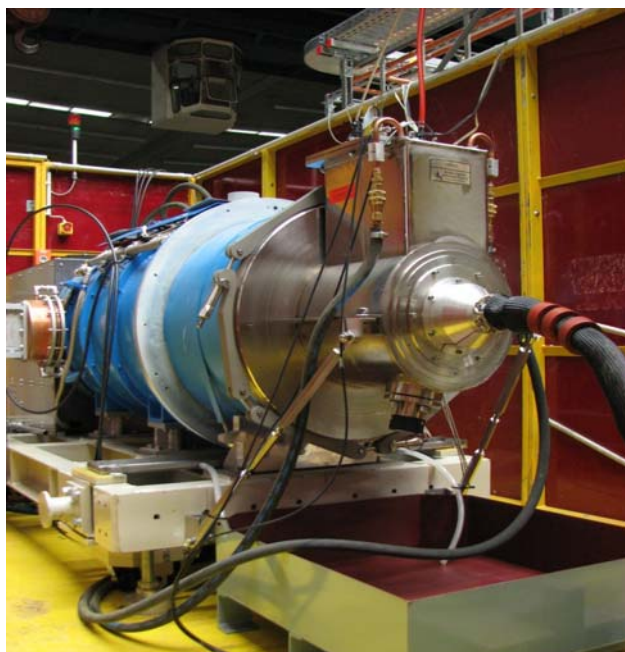


Рис. 5.7.2. Соединительный модуль на испытательном стенде в DESY.



Рис. 5.7.3. Транспортировка первых СВЧ станций в здание инжектора XFEL.

С сентября 2013 начата сборка инжектора XFEL. Первые две СВЧ станции с Соединительными модулями успешно собраны и испытаны при тестировании СВЧ фотопушки инжектора.



Рис. 5.7.4. Первая собранная СВЧ станция инжектора XFEL (сентябрь 2013).

## 5.8. НОВЫЕ УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ КАФЕДРЫ УСКОРИТЕЛЕЙ ФФ НГУ.

В 2013 году для улучшения преподавания по спецкурсу «Коллективные эффекты в динамике пучков» на кафедре физики ускорителей ФФ НГУ были выпущены три учебных пособия. Они существенно расширяют объем литературы, доступной российским магистрантам, аспирантам и молодым ученым, изучающим особенности развития когерентных колебаний и устойчивости пучков в современных накопителях и установках со встречными пучками.

Первое пособие (Н. С. Диканский, Д. В. Пестриков, «Теория когерентных колебаний пучков в накопителях». Р.и.ц. НГУ, 2013) содержит описание современного состояния теории когерентных колебаний пучков в накопителях заряженных частиц. В основу пособия положены расширенные тексты лекций, которые читались по этому предмету на кафедре физики ускорителей ФФ НГУ начиная с 1987 года, а также задачи для самостоятельного решения. Предназначено для сопровождения курса «Коллективные эффекты в динамике пучков». Будет полезно читателям для укрепления их практических знаний в исследовании когерентных эффектов на современных и будущих накопителях и коллайдерах.

В следующем пособии (Д. В. Пестриков, «Влияние пространственного заряда на дипольные колебания и флуктуации непрерывного ионного пучка». Р.и.ц. НГУ, 2013) описываются вычисления условий устойчивости дипольных когерентных колебаний и спектров шумов интенсивного, непрерывного ионного

пучка, движущегося в накопителе. При решении таких задач нетривиальные предсказания появляются благодаря совместному действию на колебания частиц нелинейностей фокусирующих полей накопителя и нелинейностей полей пространственного заряда пучка. Предназначено для сопровождения курса «Коллективные эффекты в динамике пучков». Будет полезно читателям для укрепления их практических знаний в исследовании когерентных эффектов на современных и будущих накопителях и коллайдерах.

В третьем пособии (Д. В. Пестриков, «Быстрые дипольные поперечные колебания сгустков в накопителях». Р.и.ц. НГУ, 2013) описываются свойства и особенности развития дипольных поперечных когерентных колебаний сгустков накопленных частиц, темпы изменений амплитуд и фаз которых существенно превышают частоты малых синхротронных колебаний частиц. Многие свойства таких быстрых когерентных колебаний пучков напоминают свойства неустойчивости прерывания пучка, которая первоначально наблюдалась лишь в линейных ускорителях. В накопителях возможность запоминания наведенных сгустком полей может приводить к дополнительным важным эффектам. Предназначено для расширенного сопровождения курса «Коллективные эффекты в динамике пучков». Будет полезно читателям для укрепления их практических знаний в исследовании когерентных эффектов на современных и будущих накопителях и коллайдерах.

## 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. В 2013 году в течение трёх месячной работы данная установка была смонтирована внутри ускорительного кольца. В октябре 2013 года произошел физический запуск установки и получено первое охлаждение. 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. 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- Четырехэлектродная 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- Секционная конструкция электростатического ускорителя, состоящая из унифицированных модулей. Каждый модуль способен обеспечивать генерацию высокого напряжения до 60 кВ, содержит электронику для создания магнитного поля вдоль ускорительной колонны и оборудован управляющим модулем электроники.
- 6- Мощный каскадный трансформатор позволяющий обеспечить энергией не только высоковольтный терминал, но и создать соленоидальное поле вдоль ускоряющих и замедляющих трубок.

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 энергии 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.

В процессе запуска установки удалось получить электронное охлаждение на энергии электронов 100,

200, 300 и 900 кэВ. Проведены первые успешные эксперименты по совместному электронному и стохастическому охлаждению. Максимальный достигнутый ток составлял 0,5 А. При высоковольтных испытаниях достигнута энергия 1450 кВ. Рисунки 5.9.1 – 5.9.3 показывают установку в процессе сборки.

Рисунки 5.9.4-5.9.6 показывают первые результаты по электронному охлаждению на энергии 198 кэВ. Видно, что под воздействием электронного пучка протонный пучок уменьшает свой поперечный размер. Также из измерений ширины спектра шотки шумов видно, что разброс значений продольного импульса также становится существенно меньше.



Рис. 5.9.1. Июнь 2013 – сборка и настройка электронного охладителя, электроники управления и питания в Германии.



Рис. 5.9.2. В процессе сборки электростатического ускорителя в Германии.

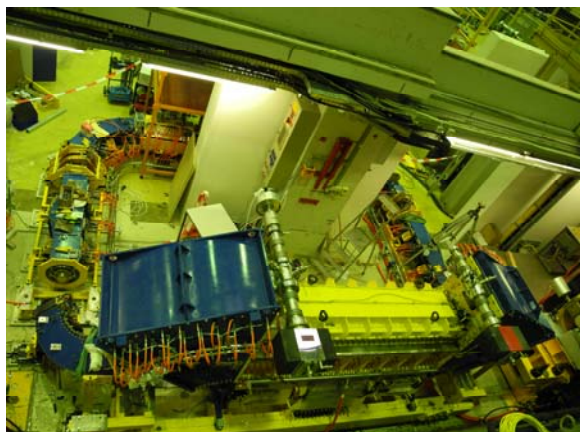


Рис. 5.9.3. Сборка секции охлаждения на ускорительном кольце.

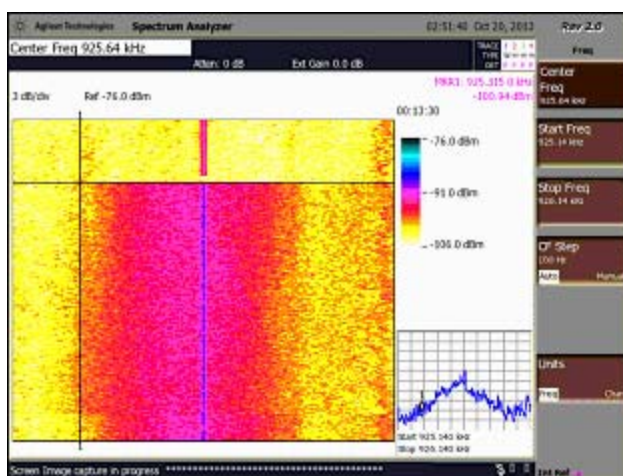


Рис. 5.9.4. Шотки шумы протонов при отсутствии электронного охлаждения.

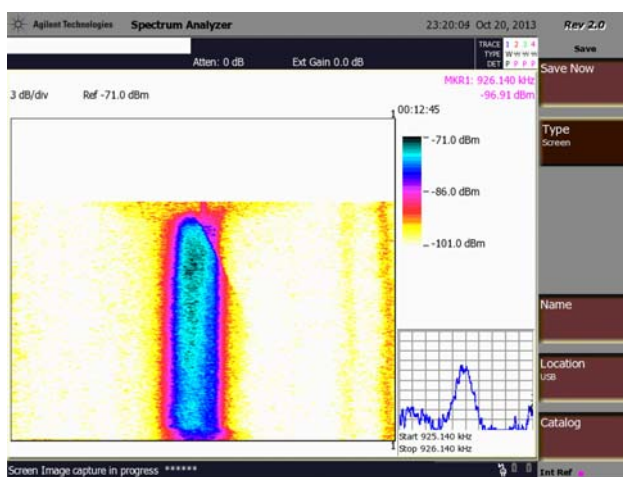


Рис. 5.9.5. Шотки шумы протонов при наличии электронного охлаждения.

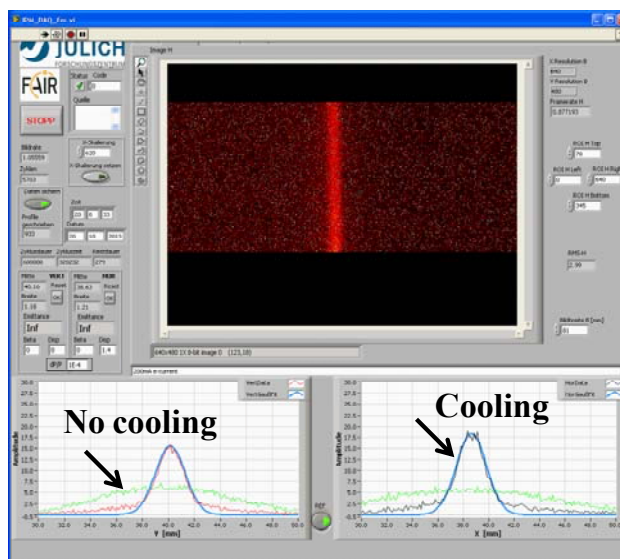


Рис. 5.9.6. Изменение поперечного профиля пучка под действием электронного охлаждения. Слева - вертикальный, справа - горизонтальный размер протонного пучка.

### 5.9.2. Система электронного охлаждения для бустера НИКА.

ИЯФ принимает участие в создании коллайдера тяжелых ионов в рамках проекта NICA (ОИЯИ, Дубна). Одним из важных элементов коллайдера является бустер, необходимый для накопления и ускорения ионов  $^{197}\text{Au}^{31+}$  до энергии 400 МэВ/нуклон и уменьшения эмиттанса пучка за счет электронного охлаждения. Между ИЯФ и ОИЯИ заключен договор на проектирование, изготовление и ввод в строй системы электронного охлаждения (СЭО).

Технические требования: СЭО должна обеспечить эффективное охлаждение тяжелых заряженных частиц – от протонов до ионов  $^{197}\text{Au}^{31+}$  и иметь следующие основные параметры:

- Энергия электронов  $E$ , кэВ  $1,5 \div 50$ ;
- Ток электронного пучка  $I$ , А  $0,2 \div 1,0$ ;
- Точность регулировки энергии  $\Delta E/E \leq 1 \cdot 10^{-5}$  ;
- Режим рекуперации энергии электронного пучка;
- Ток потерь электронного пучка,  $\delta I/I \leq 3 \cdot 10^{-5}$  ;
- Напряженность магнитного поля, Тл  $0,1 \div 0,2$  ;
- Допустимая неоднородность продольного магнитного поля на участке охлаждения,  $\Delta B/B \leq 3 \cdot 10^{-5}$  на длине 15 см (3 периода ларморовской спирали электрона с энергией 50 кэВ в поле 0,1 Тл);
- Поперечная температура электронов на участке охлаждения (в системе частиц), эВ  $\leq 0,3$  ;
- Коррекция орбиты ионов на входе и выходе СЭО: смещение, мм  $\leq 1,0$ , угловое отклонение, мрад  $\leq 1,0$  .

Сроки выполнения договора - с августа 2013 до декабря 2015 года. По состоянию на март 2014 года выполнены все научно-исследовательские и конструкторские работы, рабочие чертежи переданы для производства компонент системы.

## 5.10. УСКОРИТЕЛЬНЫЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТР

В последние годы число исследований по применению УМС в биомедицине неуклонно растет. Высокая чувствительность УМС позволяет проводить исследования при очень низких биохимических и радиационных дозах веществ, вводимых в живые системы. УМС-анализ применяется для исследования токсичности и метаболизма препаратов, изучения повреждений молекул ДНК, тестирования новых лекарственных средств и так далее.

В 2013 году была проведена адаптация УМС ИЯФ для биомедицинских исследований без ограничений возможностей по датированию природных объектов. Проведены тесты, подтверждающие надежность УМС анализа при расширении диапазона концентраций радиоуглерода в образцах. Продемонстрировано, что влияние «эффекта памяти» несущественно при анализе образцов. Совместно с ИК СО РАН был создан стенд пробоподготовки биомедицинских образцов для УМС-анализа.

Совместно с НГУ были проведены первые биомедицинские исследования с использованием УМС ИЯФ в рамках гранта ФЦП по теме: «Развитие перспективных методик анализа биомедицинских образцов для исследований токсичности и фармакокинетики химических соединений с использованием сверхчувствительного метода - ускорительной масс-спектрометрии». В результате исследований была изучена фармакокинетика метанола для самцов лабораторных мышей. Несмотря на малое количество радиоуглеродных меток в метаноле (20Бк), измеренная концентрация метанола в разы превышала естественную в исследуемых органах мышей. При УМС-анализе статистический разброс поштучного подсчета радиоуглеродных меток много меньше естественного разброса для отдельных особей, обусловленного индивидуальными особенностями метаболизма.

В 2013 году был проведен УМС-анализ всех археологических и геологических образцов (около 400 штук), графитизированных группой пробоподготовки ЦКП «Геохронология кайнозоя».

Таким образом, в отчетном периоде проводились работы направленные на расширение области применения УМС ИЯФ, а так же радиоуглеродный анализ археологических и геологических образцов.

## 5.11. ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ

### 5.11.1. Применение нераспыляемых геттеров для получения высокого вакуума в будущих установках термоядерного синтеза.

В будущих источниках высокоэнергичных атомов водорода ожидаемая нагрузка на вакуумную систему

составит  $1 \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{сек}$  с продолжительностью до  $10^3$  сек. Чтобы получить необходимый уровень вакуума  $10^{-3} \text{ Па}$ , требуется быстрота откачки по водороду порядка  $1000 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Стандартные, хорошо зарекомендовавшие себя решения, с применением криосорбционных насосов могут быть экономически невыгодными, поскольку требуют постоянного поддержания криогенных температур при значительной тепловой нагрузке. В противном случае даже при незначительном отогреве крио-панели сконденсированный на ней водород начинает десорбироваться. Кроме того, весь тракт пучка находится под высоким напряжением (до  $10^6 \text{ В}$ ), что требует специальной развязки геттера инжектором с крио-насосами и приёмником холодного газообразного гелия.

Одним из альтернативных решений обеспечения необходимого динамического давления в вакуумных камерах является использование нераспыляемых геттеров. Потенциальными преимуществами являются:

- эксплуатация при комнатной температуре;
- не требуется усложнения конструкции и дополнительной электрической развязки между инжектором и геттером, достаточно иметь возможность подводить мощность к нагревателю для активации геттера.

Ниже приводятся результаты изучения газопоглощающих и активационных свойств отечественного геттера TiZrAl фирмы ОАО «Полема».

Геттер изготавливается в виде таблеток (диаметр  $13,7^{+0,2} \text{ мм}$ , толщина  $3,5 \text{ мм}$ ). В ИЯФ создан прототип геттерного насоса-картриджа (рис.5.10.1), содержащего 285 шт. Таблеток (вес  $0,450 \text{ кг}$ ), и встроенный нагреватель. Картридж представляет собой цилиндр размерами (внешний диаметр)  $90 \text{ мм}$  и (длина)  $140 \text{ мм}$ . Таблетки располагаются с зазором  $1 \div 1,5 \text{ мм}$  регулярным образом между цилиндрическими сетками. Геометрическая активная площадь геттера (внешняя стенка цилиндра) равна  $395 \text{ см}^2$ . Торцы картриджа были закрыты для обеспечения равномерного прогрева таблеток. На рис.5.11.1 представлен картридж, размещенный на фланце ДУ150 типа conflat.



Рис. 5.11.1 Прототип картриджа на основе таблеток из TiZrAl.

Поскольку не существует подробной информации по свойствам геттера TiZrAl, в ИЯФ проводились дополнительные исследования быстроты откачки гетте-

ра и сорбционной емкости по водороду в зависимости от температуры активации.

Для исследования газопоглощающих и активационных свойств, проводилась следующая последовательность измерений:

- 1) Активация №1 при 300°C (измерение быстроты откачки и сорбционной емкости по водороду)/пассивация (24 часа под атмосферой воздуха);
- 2) Активация №2 при 350°C (измерение быстроты откачки и сорбционной емкости по водороду);
- 3) Регенерация №1 при 400°C (измерение быстроты откачки и сорбционной емкости по водороду)/пассивация (72 часа под атмосферой воздуха);
- 4) Активация №3 при 500°C (измерение быстроты откачки и сорбционной емкости по водороду);
- 5) Регенерация №2 при 500°C (измерение быстроты откачки и сорбционной емкости по водороду);
- 6) Регенерация №3 при 520°C/пассивация (12 часов под атмосферой воздуха).
- 7) Исследование быстроты откачки в зависимости от рабочей температуры (после активации при 350°C).
- 8) Исследование быстроты откачки в зависимости от рабочей температуры (после активации при 400°C).

Активация (регенерация) осуществлялись в течение 24 часов.

В Таблицах 5.11.1 и 5.11.2 представлены значения квазиравновесного давления водорода при комнатной температуре после активации или регенерации и квазиравновесного давления в системе от дозы поглощенного водорода при комнатной температуре после активаций, соответственно.

Таблица 5.11.1. Квазиравновесное давление водорода при комнатной температуре после активации или регенерации (при различных температурах).

	Актив №1	Актив №2	Реген №1	Актив №3	Реген №2	Реген №3
$T_{актив}, ^\circ C$	300	350	400	500	500	520
$P_{равновес}, Торр$	2,06E-8	2,18E-9	3,3E-9	4,8E-9	8,4E-10	5,04E-10

Таблица 5.11.2. Квазиравновесное давление в системе при насыщении водородом при комнатной температуре после активаций.

	Актив №1	Актив №2	Реген №1	Актив №3	Реген №2	Реген №3
Доза, л·Торр	450	1440	1440	1550	1560	-
$P_{равновес}, Торр$	3,12E-5	1,39E-6	4,8E-8	2,4E-7	2,64E-7	-

Проводились измерения зависимостей быстроты откачки геттера от потока напускаемого газа (Рис. 5.11.2) для различных температур активации. Из-за сильного гажения геттера нельзя было с полной уверенностью утверждать, что геттер был полностью активирован при первоначальных 350-400°C. Последующие активации/регенерации при 500-520°C полностью подтвердили данное предположение.

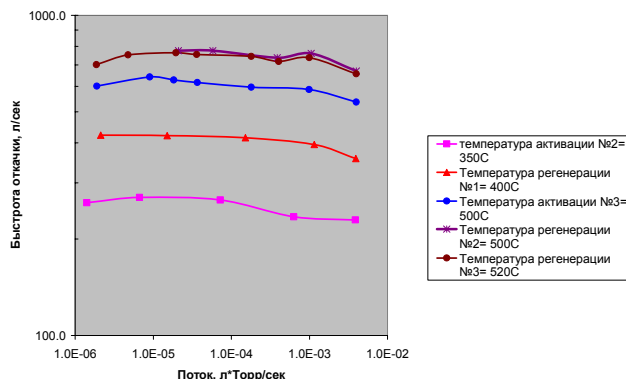


Рис.5.11.2. Зависимость быстроты откачки от потока инжектируемого газа при различных температурах активации.

На рисунке 5.11.3 представлены измерения зависимостей быстроты откачки геттера по водороду от рабочей температуры геттера (эксперименты 7 и 8).

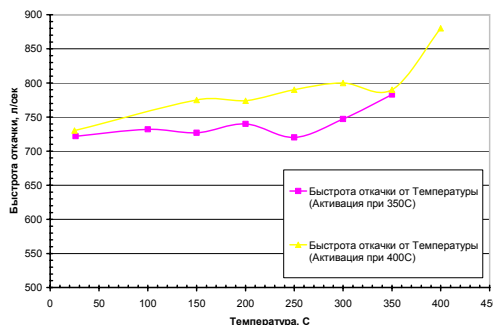


Рис.5.11.3. Быстрота откачки от рабочей температуры геттера TiZrAl. Поток газа:  $(2\div 4)\cdot 10^{-5}$  л·Торр/сек.

Дальнейшее повышение температуры активации не привело к увеличению быстроты откачки. Таким образом, сравнительно высокая температура активации (500°C) фактически необходима для предварительного обезгаживания геттера, которое может быть осуществлено на специализированном вакуумном стенде до установки картриджа в инжектор.



6

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И  
ЛАЗЕРЫ НА СВОБОРДНЫХ  
ЭЛЕКТРОНАХ



## 6.1. ВВЕДЕНИЕ

В Институте Ядерной Физики уже более тридцати лет функционирует центр коллективного пользования Сибирский центр Синхротронного и Терагерцевого излучения (СЦСТИ), работы в котором ведутся по двум направлениям: с использованием синхротронного и терагерцевого излучений.

Направление «Синхротронное излучение» включает в себя работы на накопителях ВЭПП-3 и ВЭПП-4, разработку и создание систем для генерации синхротронного излучения как для российских центров СИ, так и для зарубежных.

Работы по терагерцевому направлению ведутся на Новосибирском лазере на свободных электронах (ЛСЭ).

Кроме того, в центре проводится программа обучения и профессиональной подготовки студентов и аспирантов.

Для проведения работ на пучках СИ из накопителя ВЭПП-3 в 2013 было выделено 2076 часов (в 2012 году – 1590 часов), и 348 часов из ВЭПП-4 (в 2012 году – 48 часов). В экспериментах были задействованы 10 станций на 7 каналах вывода СИ из накопителя ВЭПП-3 и 2 станции СИ из ВЭПП-4. Новосибирский ЛСЭ в 2013 году работал на пользователей около 1000 часов, как и в 2012 году.

## 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 2013 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 годы.

- 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», 2012-2014 годы.

- РФФИ 12-01-00177-а Томография механических параметров детонационного течения и уравнение состояния продуктов взрыва, 2012-2014 годах (рук. Э.Р. Прууэл).

- РФФИ 11-03-00874-а Исследование динамики конденсации наночастиц при детонации ВВ методом малоуглового рассеяния синхротронного излучения, 2011-2013 годы (рук. В.М. Титов).

- Договор 6/2013 от 15 апреля 2013 года «Исследование параметров детонационной волны с применением синхротронного излучения». Заказчик: Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина. (РФЯЦ - ВНИИТФ).

Примеры работ в 2013 году:

#### 1. Исследование смесового состава тэн+сода.

На экспериментальной станции ускорителя ВЭПП-3 с помощью СИ были проведены эксперименты по исследованию детонирующих образцов насыпных смесей тэн+сода 35/65 диаметром 15-20 мм. Данное смесевое взрывчатое вещество (ВВ) отличается очень малой начальной плотностью ( $\sim 0,5 \text{ г/см}^3$ ) и низкой скоростью детонации ( $\sim 2 \text{ км/с}$ ). В сочетании с малым критическим диаметром ( $\sim 3 \text{ мм}$ ) данный состав очень перспективен для использования при сварке взрывом. Все образцы данного смесового ВВ были приготовлены во ВНИИЭФ (Саров). Эксперименты проводились в двух постановках: продольное и поперечное измерение рентгеновского поглощения (детектор расположен поперек направления детонации). Регистрация СИ проводилась детектором DIMEX собственной разработки. В первых экспериментах получены распределения плотности на фронте при детонации этого состава. Получены значения плотности в пике Неймана ( $1,15 \text{ г/см}^3$ ) при скорости детонации  $2,3 \text{ км/с}$ . Ширина химпика составляет  $1,2 - 1,5 \text{ мм}$ . При поперечном измерении поглощения получены объемные распределения давления, плотности и поля скоростей разлета продуктов детонации.

#### 2. Измерение поглощения синхротронного излучения (СИ) вдоль распространения детонации.

При продольных измерениях фиксируется распределение массы на луче СИ. На рис. 6.2.1 показана экспериментальная сборка с зарядами из смеси тэн+сода. Во фронте детонации наблюдается характерное увеличение массы, связанное со сжатием вещества. Для исследуемых составов строились zt-диаграммы положения начала фронта. Через полученные точки проводилась аппроксимационная линия  $z=Dt+c$ , где  $z$  – координата фронта,  $t$  – время,  $D$  – получаемая скорость фронта,  $c$  – константа. Погрешность определения  $D$  в большинстве случаев - на уровне 1 - 2%.

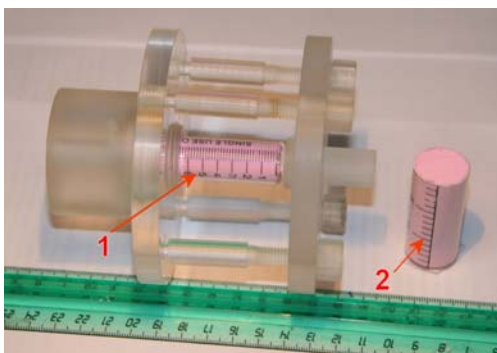


Рис. 6.2.1. Сборки с составом тэн+сода, подготовленные к экспериментам. 1 - шприц на 10 мл, 2 – шприц на 20 мл.

В экспериментах с содой приготовление зарядов производилось засыпкой смеси в шприц и его постукиванием до полного исчезновения полостей. Полученная плотность смеси составляла от 0,7 до 0,8 г/см<sup>3</sup>. На рис. 6.2.2 приведена одна из записей положения фронта детонации. В диапазоне плотностей 0,5 – 0,85 г/см<sup>3</sup> скорость детонации стабильна.

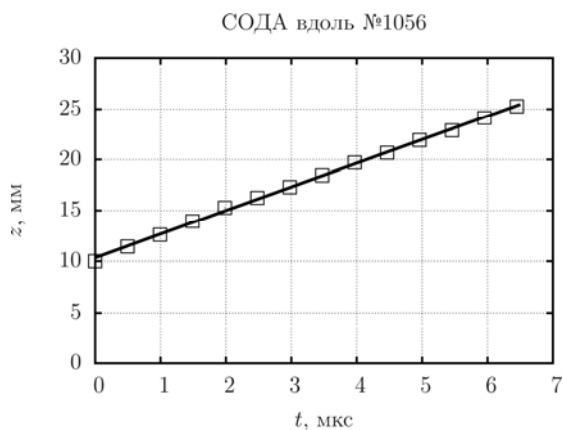


Рис. 6.2.2. z - t диаграмма фронта детонационной волны. Значительных колебаний скорости нет.

После проведения калибровки детектора по записям восстанавливается динамическая зависимость массы на луче от номера канала (распределение массы вдоль оси, рис. 6.2.3). Процедура восстановления распределения плотности в приосевой части образца ВВ в экспериментах рассматриваемого типа, состоит из нескольких этапов. Сначала определяется зависимость от расстояния интегральной величины

$$m(X) = 2 \int_0^R \rho(X, r) dr$$

– массы ВВ вдоль луча СИ, который проходит через ось симметрии заряда и перпендикулярен ей (здесь  $R$  – радиус заряда ВВ). Поскольку значение  $m$  сильно меняется в процессе детонации ВВ и последующего разлета продуктов взрыва, меняется и спектр поглощения СИ. Поэтому предварительно проводится калибровка каждого канала де-

тектора, позволяющая выяснить связь величины  $m$  с относительным поглощением излучения исследуемым ВВ  $J/J_0$ , где  $J$  – зарегистрированный поток,  $J_0$  – падающий поток СИ. Для этого используются образцы ВВ различной толщины. Результат такой калибровки, представленный в виде зависимости  $\ln(J/J_0)$  от  $m$ , имеет близкий к линейной функции вид и интерполируется параболой типа  $\ln(J/J_0) = a_0 - a_1 \cdot m + a_2 \cdot m^2$ .

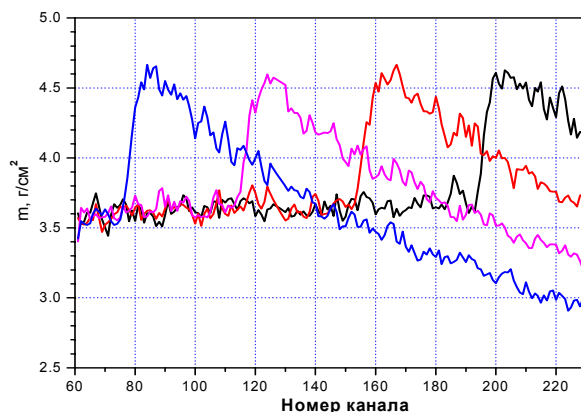


Рис. 6.2.3. Распределение массы  $m(n)$  на луче в образце сода+тэн. Профили даны с интервалом ~ 2 мкс.

Для определения профиля плотности на фронте детонации вблизи оси симметрии образца ВВ берутся значения  $m$ , соответствующие каналам, которые регистрируют сигнал в прифронтной зоне. При этом используется ряд упрощающих предположений:

- Фронт детонационной волны является частью сферы с радиусом  $R = d^2/8b + b/2$ , где  $d$  – диаметр заряда,  $b$  – выпуклость центральной точки фронта;
- Сжатое ВВ за фронтом состоит из слоев постоянной плотности, разделенных сферическими поверхностями, радиусы которых последовательно уменьшаются на ширину канала измерения;
- Каждому из каналов, которые оказались за фронтом детонации, приписывается свое значение плотности ВВ на оси симметрии заряда.

Полученная для смеси усредненная по нескольким опытам сглаженная зависимость  $\rho(X)$  представлена на рисунке 6.2.4, где  $X=0$  соответствует ударному скачку.

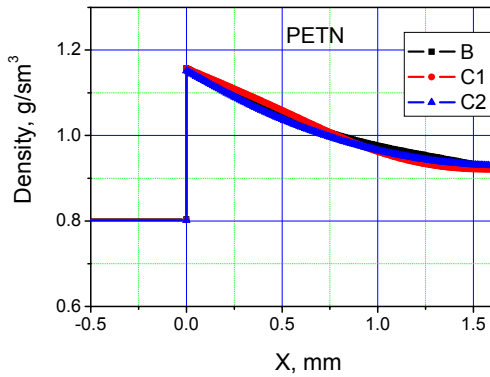


Рис. 6.2.4. Профиль плотности на фронте детонации смеси тэн+сода. Начальная плотность  $0,8 \text{ г/см}^3$ .

Существенной особенностью примененной постановки опытов является кривизна фронта детонации в сочетании с его осевой симметрией. При восстановлении плотности по результатам регистрации прошедшего через образец излучения это приводит к погрешности, которая резко увеличивается при удалении от фронта, поскольку в данном случае используется предположение о наличии на фронте сферических равноплотных слоев. Из-за этого зона, на которой точность восстановленной плотности является приемлемой, оказывается не более 1 мм.

### 3. Поперечное измерение поглощения.

В данной постановке исследуется разлет продуктов детонации цилиндрического заряда ВВ. Через период между импульсами СИ измеряется поперечное распределение поглощения. После калибровки поглощения детектором получается поперечное распределение массы.

Разработанные специализированные методы восстановления плотности, основанные на регуляризации искомого решения посредством интенсивного использования априорной информации о структуре исследуемого течения, позволили не только значительно улучшить точность восстановления плотности, но и начать восстанавливать другие механические параметры течения: распределения массовой скорости и давления.

Полученные результаты позволяют детализировать пространственное распределение плотности разлетающихся продуктов. На рис. 6.2.5 и 6.2.6 приведены полученные распределения давления и плотности, а также их значения на оси заряда при детонации смеси тэн+сода (плотность  $\rho = 0,75 \text{ г/см}^3$ ). На рис. 6.2.7 приведены распределения (и направления) вектора массовой скорости.

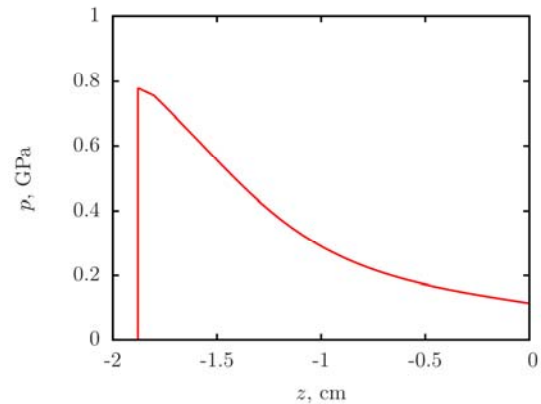
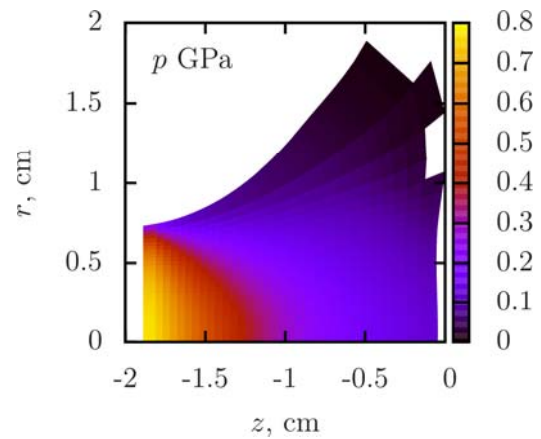


Рис. 6.2.5. Объемное распределение давления, плотность  $0,85 \text{ г/см}^3$  (а), распределение давления вдоль оси заряда (б).

Полученная детальная информация о структуре течения позволяет построить адиабату разгрузки (или уравнения состояния разлетающихся продуктов взрыва) из экспериментальных данных. Производная

$c = \left( \frac{\partial p}{\partial \rho} \right)^{1/2}$  будет интерпретироваться как скорость звука. После восстановления уравнения состояния она вычисляется в явном виде

$$c = \left( \frac{\partial p}{\partial \rho} \right)^{1/2} = [p_0 (\rho / \rho_0)^{\gamma(\rho)} (\gamma(\rho) / \rho + \ln(\rho / \rho_0) \gamma'(\rho))]^{1/2}$$

Зная ее можно точно восстановить зону воздействия химической реакции на параметры во фронте детонационной волны.

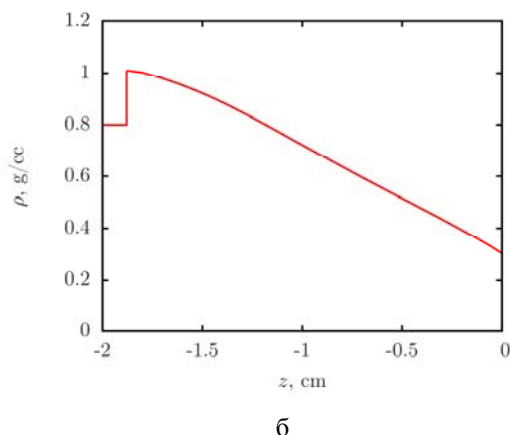
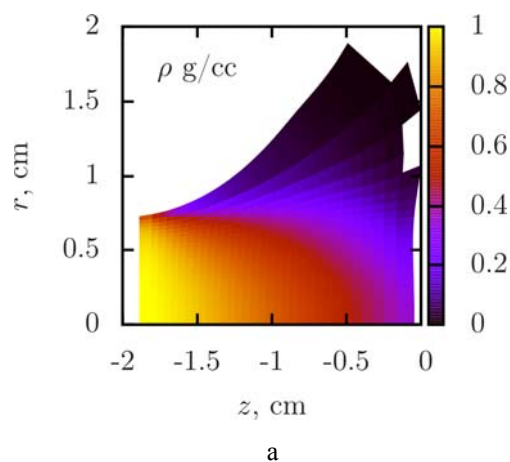


Рис. 6.2.6. Объемное распределение плотности (а), распределение плотности вдоль оси заряда (б).

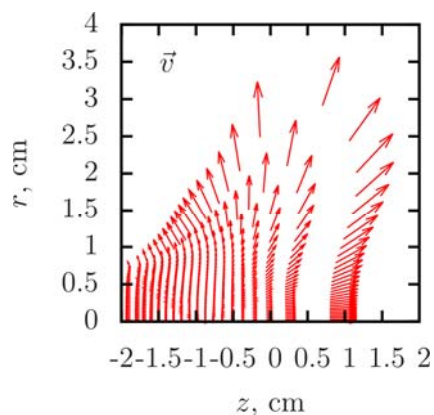


Рис. 6.2.7. Пространственные распределения массовой скорости.

### 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 2013 году работы на станции проводились по научным планам участвующих институтов, а также при финансовой поддержке следующих проектов и договоров:

- Проект РФФИ № 12-02012071 (2012-2014 гг.), офи\_м, название: «Развитие методов получения высоко разрешающих фазоконтрастных изображений с использованием рентгеновской дифракционной оптики»;
- Междисциплинарной интергационный проект СО и ДВО РАН №92 (2012-2014 гг.) «Материалы и LIGA технологии для создания микрофлюидных аналитических систем, регистрирующих флуоресценцию».

Примеры работ в 2013 году:

В отчетный период основное направление работ на станции LIGA на накопителе ВЭПП-3 заключалось в развитии методов изготовления рентгеношаблонов для последующего производства высокоаспектных микроструктур для прикладных исследований (биочипы, дифракционные решетки). Для этого в СЦСТИ реализован прототип микропучкового рентгенолитографа (МПРЛ) – нового устройства для прямого формирования микроструктур в глубоких слоях рентгенорезиста посредством векторного рисования произвольно заданной топологии микропучком СИ без использования рентгеношаблонов с топологическим рисунком структуры. Разработано специальное программное обеспечение для прецизионного перемещения подложки с резистом относительно рентгеношаблона – диафрагмы с контролем набора дозы. Реализована возможность формирования микроструктур, состоящих из ломаных прямых линий, а также дуг окружностей непосредственно в слое негативного резиста SU-8 толщиной до нескольких сотен микрометров. Полученные микроструктуры из резиста SU-8 на проводящей (стеклоуглеродной) подложке используются как маски для электрохимического осаждения золотого покрытия толщиной 25 - 50 мкм для обеспечения рентгеноконтраста в «жестком» спектральном диапазоне СИ 1-10 Å. Таким образом в СЦСТИ в настоящее время изготавливаются рентгеношаблоны для LIGA на подложках из стеклоуглерода или бериллия.

Значительно расширить возможности МПРЛ и сократить время формирования микроструктур удалось благодаря модернизации конструкции МПРЛ и реализации возможности изменять размер микропучка, в процессе рисования структуры. Для этого в устройстве МПРЛ добавлен независимый координатный прецизионный столик для перемещения в плоскости параллельной облучаемой подложки шаблона с набором рентгеновских диафрагм. В процессе рентгенолитографии выбранная диафрагма совмещается с предварительной диафрагмой диаметром 500 мкм, фиксированной установленной на входе пучка в камеру, формируя таким образом микропучок для рисования структуры. Управление сменой диафрагм и перемещением подложки с резистом осуществляется автоматически. Возможно построение топологий, совмещающих элементы различного размера за минимальное время, в результате оптимизации выбора необходимого для каждого элемента размера микропучка СИ.

Выполнены оценки влияния контраста формирующих микродиафрагм в сочетании с требуемой плотностью элементов топологического рисунка на качество формируемых микроструктур. Определены ограничения метода и выработаны рекомендации по оптимизации использования МПРЛ.

МПРЛ может быть использован для решения широкого спектра пользовательских задач, где требуются микроструктуры с минимальными размерами более 20 мкм (рис. (6.2.)8), например – дифракционные элементы для оптики рентгеновского, видимого, терагерцового и ИК-диапазонов, микрофлюидные модули для биологических экспресс анализов, тестовые структуры для изображающей рентгеновской микроскопии и т.п. Изготовлен ряд экспериментальных высокоаспектных микроструктур, в том числе высококонтрастных рентгеношаблонов для жесткого (~ 10 кэВ) СИ – рентгеношаблон микрофлюидного модуля с минимальными размерами каналов 25 мкм; рентгеношаблон дифракционной решетки с периодом 135 мкм, площадью 1 см<sup>2</sup> с золотым 25 мкм покрытием, решетка из резиста SU-8 площадью 10 × 3 мм<sup>2</sup> с периодом 30 мкм (рис. 6.2.9, рис. 6.2.10, рис. 6.2.11).

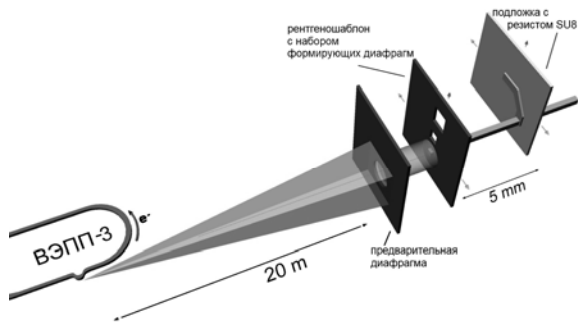


Рис. 6.2.8. Схема работы прототипа микропучкового рентгенолитографа (МПРЛ).

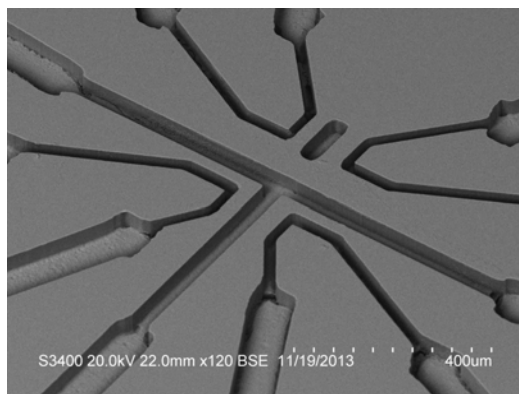


Рис. 6.2.9. Микрофлюидный модуль, изготовленный из ПММА (листовое оргстекло марки ТОСП) методом глубокой рентгенолитографии с использованием шаблона, созданного с использованием МПРЛ после осаждения на заготовку 30 мкм слоя золота, глубина каналов в ПММА 50 мкм.

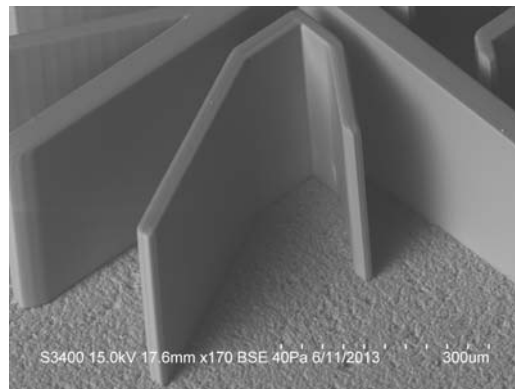


Рис. 6.2.10. Высокоаспектные микроламели, изготовленные прямым рисованием рентгеновским микропучком в толстом слое резиста SU-8, минимальная ширина ламелей 23 мкм, высота структуры 330 мкм.



Рис. 6.2.11. Изготовленная с помощью МПРЛ микрорешетка из резиста SU-8 на стеклоуглеродной подложке с гальванически осажденным золотым покрытием толщиной около 50 мкм. Период структуры 130 мкм, ширина линий 65 мкм, общее поле решетки 1 × 1 см<sup>2</sup>.

### 6.2.3. Станция «Аномальное рассеяние» и «Презиционная дифрактометрия».

#### Станция «Аномальное Рассеяние».

Работы, выполненные на станции:

1. Исследование фазового состава и структуры катализатора Au/ $\square$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, прокаленного при различных температурах, методом резонансного рассеяния вблизи края поглощения AuL<sub>III</sub> (Институт катализа СО РАН);
2. Исследование устойчивости структуры металл-органического каркаса (MOF) MIL-125 к воздействию реакционной среды (Институт катализа СО РАН);
3. Исследование фазового состава и структуры полимер-углеродных нанокомпозитов (Институт катализа СО РАН);
4. Исследование структуры смешанных оксидов со структурой перовскита (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН);
5. Исследование фазового состава упрочняющих покрытий на основе нитрида титана, получаемых ионно-плазменным напылением (Томский политехнический университет);
6. Исследование структурных особенностей смешанного кальций-алюминиевого оксида со структурой майенита (Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН);
7. Исследование структуры материалов с высокой диэлектрической проницаемостью на основе оксида гафния (Институт неорганической химии СО РАН).

#### Исследование структуры материалов с высокой диэлектрической проницаемостью на основе оксида гафния.

В настоящее время HfO<sub>2</sub> и двойные оксиды на его основе (HfO<sub>2</sub>-Ln<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ln = редкоземельный элемент) широко исследуются, как оптические, термостойкие и сверхтвердые материалы, имеющие большое значение для развития новых технологий. Кроме того, данные материалы обладают высоким коэффициентом диэлектрической проницаемости ( $k$ ), что открывает возможность их использования в качестве материала подзатворного диэлектрика в микро- и нанoeлектронных устройствах нового поколения. В связи с этим исследование тонких пленок на основе данных соединений, называемых в англоязычной литературе high- $k$  диэлектриками, имеет особый интерес.

Оксид гафния при атмосферном давлении имеет несколько структурных модификаций. При комнатной температуре равновесной фазой является моноклинная ( $k = 16$ ). Моноклинная модификация переходит в тетрагональную ( $k = 70$ ) при 1300 К, а при температуре около 2700 К - в кубическую ( $k = 29$ ). Соответственно, для практического использования предпочтительными являются пленки, имеющие тетрагональную или кубическую структуру. Эти структуры, являясь неравновесными при  $T < 1300\text{K}$ , могут быть ста-

билизованы в нанокристаллическом материале, а также путем легирования HfO<sub>2</sub> элементами редких и редкоземельных металлов, в том числе лантаном.

Преимуществом пленок двойных оксидов La <sub>$x$</sub>  Hf <sub>$1-x$</sub>  O <sub>$y$</sub>  перед HfO<sub>2</sub> является их более высокая температура кристаллизации. Концентрацией лантана можно эффективно модулировать величину напряжений плоских зон ( $V_{FB}$ ) в структурах, где в качестве подзатворного диэлектрика используются такие пленки. Многие исследователи обращают внимание на пленки Hf<sub>2</sub>La<sub>2</sub>O<sub>7</sub> со структурой пироклора, применение которых в MOS полевых транзисторах (MOSFETs) позволяет регулировать работу выхода в контакте с металлическим затвором. Известно, что легирование HfO<sub>2</sub> разновалентной примесью инициирует дополнительную генерацию кислородных вакансий. Эти дефекты являются причиной появления в запрещенной зоне диэлектрика уровней зарядовых состояний, что может существенно увеличить ионную проводимость материала. Однако в ряде публикаций было показано, что легирование HfO<sub>2</sub> лантаном приводит к смещению этих уровней в зону проводимости, и в структурах с пленками Hf <sub>$1-x$</sub> La <sub>$x$</sub>  O <sub>$y$</sub>  фиксируются меньшие заряд и токи утечки. Также был предложен механизм пассивации кислородных вакансий в пленках HfO<sub>2</sub>, легированных элементами III группы.

Тонкие пленки Hf <sub>$1-x$</sub> La <sub>$x$</sub>  O <sub>$y$</sub>  получают методами физического распыления мишеней в атмосфере кислорода или химическим осаждением из газовой фазы (MOCVD и ALD). Функциональные свойства получаемых пленок определяются их химическим, фазовым составом и структурой. Хотя исследованию пленок Hf <sub>$1-x$</sub> La <sub>$x$</sub>  O <sub>$y$</sub>  в последние годы уделяется значительное внимание, имеется недостаточное понимание зависимости их химического, фазового состава, структуры и свойств от условий получения.

При синтезе пленок методом MO CVD в неравновесных условиях их формирование осуществляется в процессе соосаждения из паров летучих прекурсоров, в которых уже имеются связи Ln-O и Hf-O, а при отрыве лигандов на некоторое время остаются свободные валентности. Такие условия синтеза способствуют образованию неравновесных фаз при  $T < 600^\circ\text{C}$ .

Цель данной работы заключалась в разработке метода получения пленок двойных оксидов La <sub>$x$</sub> Hf <sub>$1-x$</sub> O <sub>$y$</sub>  из бета-дикетонатных комплексов La и Hf, характеристики их химического строения, а также в исследовании фазообразования при варьировании в широких пределах концентрации La.

На рис. 6.2.12 показаны дифрактограммы порошков HfO<sub>2</sub> моноклинной (1), кубической (2) модификаций и соединения La<sub>2</sub>Hf<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (3), а также характерные дифрактограммы пленок La <sub>$x$</sub> Hf <sub>$1-x$</sub> O <sub>$y$</sub> , концентрация La в которых составляет 4, 11 и 18 ат.% (дифрактограммы 4, 5, 6 соответственно).

Ранее было установлено, что пленки HfO<sub>2</sub>, синтезированные из Hf(thd)<sub>4</sub> при температурах  $\leq 600^\circ\text{C}$ , имеют равновесную моноклинную структуру. Сопоставление дифрактограмм (1) и (2) с дифрактограммой



(4) показывает, что рефлексы при  $2\theta = 30,08; 34,7; 50,13$  и  $59,23^\circ$  близки по положению к рефлексам при  $2\theta = 30,03$  (111);  $34,2$  (002);  $50,29$  (202) и  $59,6$  (311), соответствующим тетрагональной фазе (ICDD PDF-2 No.00-008-0342). Следует отметить, что нельзя полностью исключить образование кубической фазы (ICSD No.2-3033), так как положение рефлексов для этих фаз близко. Таким образом, исследование показало, что легирование  $\text{HfO}_2$  лантаном на уровне  $\sim 4$  ат.% модифицирует равновесную моноклинную структуру и формирует неравновесную тетрагональную или кубическую структуры, которые являются равновесными лишь при высоких температурах ( $> 1700^\circ \text{C}$ ). Большие значения полуширины дифракционных линий определяются малым размером нанокристаллов, из которых состоит пленка. Их размер, оцененный по уравнению Шеррера, составляет  $\sim 10$  нм.

Из рисунка 6.2.12 видно, что рефлексы на дифрактограмме плавно смещаются в направлении меньших значений  $2\theta$ . Наблюдаемое систематическое смещение положения максимумов является признаком образования твердых растворов. Смещение в направлении меньших  $2\theta$  имеет место, когда в решетку  $\text{HfO}_2$  ( $r_{\text{Hf}} = 0,82 \text{ \AA}$ ) внедряется элемент с большим ионным радиусом ( $r_{\text{La}} = 1,04 \text{ \AA}$ ).

Анализ дифрактограмм пленок с концентрацией La от 7 до 16 ат.% показал, что пленки твердых растворов имеют флюоритоподобную кубическую структуру и относятся к пространственной группе Fm-3m. Таким образом, формирующийся твердый раствор со структурой флюорита занимает область, простирающуюся от  $\sim 7$  до 16 ат.% La.

С увеличением концентрации La параметр решетки  $a$  увеличивается с  $5,14$  до  $5,3 \text{ \AA}$ . Сравнение дифрактограммы (6) для пленки с концентрацией La равной 18 ат.% с дифрактограммой (3) для соединения  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  со структурой пирохлора указывает на их идентичность.

Дифрактограмма пленки с концентрацией La равной 30 ат.% показана на рисунке 6.2.13 (1) в сравнении с порошкограммами  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ (3) и  $\text{c-La}_2\text{O}_3$  (2).

Из сравнения дифрактограмм следует, что на дифрактограмме пленки рефлексы при  $2\theta = 27,5; 28,7; 33,1; 47,7$  и  $56,4^\circ$  совпадают с рефлексами соединения  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ , а рефлексы при  $2\theta = 45,2$  и  $53,7^\circ$  близки к рефлексам  $\text{La}_2\text{O}_3$ . Рефлекс при  $2\theta = 27,5^\circ$  имеет плечо, которое можно также отнести к фазе  $\text{La}_2\text{O}_3$ . Таким образом, можно сделать заключение, что пленка, содержащая  $\sim 30$  ат.% La, является двухфазной, состоящей из  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  и  $\text{c-La}_2\text{O}_3$ . Индексирование рефлексов в дифрактограмме (1) на основании базы структурных данных (ICDD) неоднозначно, так как в базе приводятся две фазы  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  с одинаковыми значениями межплоскостных расстояний, но с разными постоянными решетками  $a = 10,77 \text{ \AA}$  и  $a = 5,38 \text{ \AA}$ .

Для кубической фазы  $\text{La}_2\text{O}_3$  известны две структуры с постоянными решетками ( $a = 11,327 \text{ \AA}$  и  $4,51 \text{ \AA}$ ), для которых межплоскостные расстояния различаются. Как можно видеть из рисунка 6.2.13, особенностью

рентгенограммы (1) является появление двойных рефлексов в области  $2\theta = 40 - 60^\circ$  и плеча на рефлексе при  $2\theta = 27,5^\circ$ , что характерно для материалов, состоящих из двух изоморфных фаз с близкими параметрами решетки. Непротиворечивое индексирование рефлексов при  $2\theta = 27,5; 28,7; 33,1; 47,7$  и  $56,4^\circ$  может быть принято для кубической структуры  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  с параметром решетки  $10,77 \text{ \AA}$ .

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что:

- Пленки являются нанокристаллическим, размер ОКР составляет  $\sim 10$  нм.
- С увеличением концентрации La на дифрактограммах наблюдался сдвиг рефлексов в направлении меньших значений  $2\theta$ . Систематическое смещение положения максимумов является характерным признаком образования твердых растворов.
- Формирующийся твердый раствор имеет структуру флюорита и занимает область, от  $\sim 7$  до 16 ат. % La. При концентрации La равной 18 ат.% формируется пленка со структурой пирохлора ( $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ ).
- Пленка, содержащая  $\sim 30$  ат.% La, является двухфазной, состоящей из  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  и  $\text{c-La}_2\text{O}_3$ .

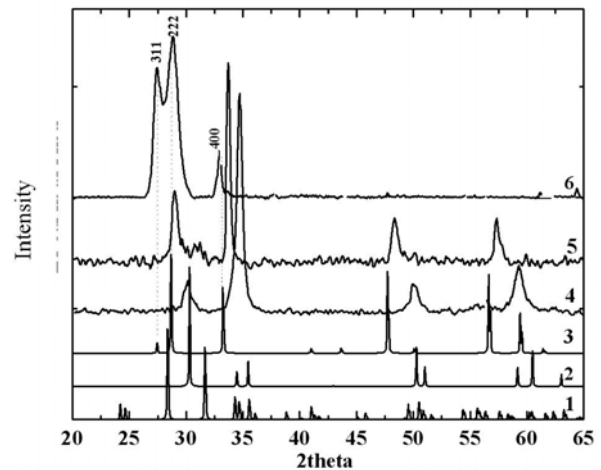


Рис. 6.2.12. Расчетные и экспериментальные рентгенограммы: 1 -  $\text{HfO}_2$  (моноклинная структура – ICDD PDF-2 No.070-2831), 2- $\text{HfO}_2$  (кубическая модификация - ICDD PDF-2 No.070-28312) и 3- $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  (структура пирохлора - ICDD PDF-2 No.037-1040) и 4, 5, 6 - дифрактограммы пленок с концентрацией La, равной 4, 11, 18 ат.% соответственно.

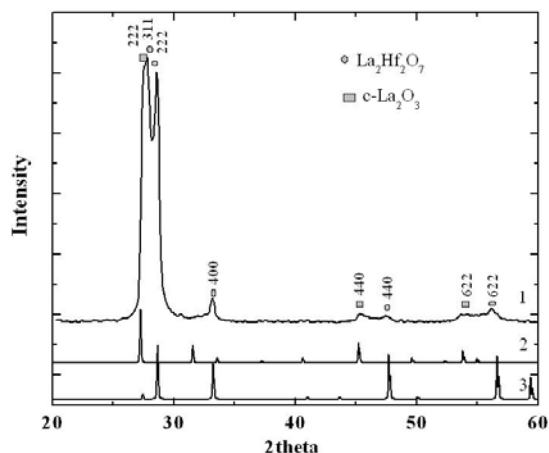


Рис. 6.2.13. Сравнение дифрактограммы пленки с концентрацией La = 30 ат. % (1) с порошкограммами c-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2- ICDD PDF-2 No.004-0856) и La<sub>2</sub>Hf<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (3- ICDD PDF-2 No.037-1040).

### Станция «Прецизионная Дифрактометрия».

Работы, выполненные на станции:

1. Исследование структурной стабильности систем LaCa<sub>x</sub>(Fe,Co)<sub>(1-x)</sub>O<sub>3</sub> (x= 0 – 0,7), LaMn<sub>x</sub>Fe<sub>(1-x)</sub>O<sub>3</sub>(x = 0,2 – 0,8) в условиях вакуума в диапазоне температур 25 - 900° C;
2. Восстановление в потоке водорода каталитических систем, содержащих оксиды Cu, Ni, Mo, на подложке Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в диапазоне температур 25-700° C;
3. Исследование автоколебательных реакций системы CH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> на никеле при различных условиях (парциальные давления, температура, соотношение реагентов);
4. Исследование отклика оксидных систем с высокой кислородной подвижностью Pr<sub>(2-x)</sub>NiO<sub>4</sub>(x=0-0.3) на изменение парциального давления кислорода при различных температурах;
5. Исследование отклика оксидной системы с высокой кислородной подвижностью Ba<sub>0,5</sub>Sr<sub>0,5</sub>Co<sub>0,8</sub>Fe<sub>0,2</sub>O<sub>3</sub> на изменение парциального давления кислорода при различных температурах;
6. Исследование структурных и фазовых изменений в полимер-углеродных наноккомпозитах вблизи точки плавления полимера;
7. Исследование процессов горения нанопорошка алюминия на воздухе;
8. Исследование процессов восстановления Co в системе Co-Al в потоке водорода.

### In Situ рентгенодифракционные исследования релаксации кристаллической структуры оксидов Pr<sub>2-x</sub>NiO<sub>4-□</sub> (x=0,0 – 0,3), вызванной потерей кислорода.

Смешанные электронно-ионные проводники со структурой типа K<sub>2</sub>NiF<sub>4</sub>, а именно ряд никелатов Ln<sub>2</sub>NiO<sub>4±□</sub> (Ln=La, Nd, Pr) обладают высокой кислородной подвижностью и высокой активностью в ре-

акции диссоциативной адсорбции кислорода. В следствие чего они представляют определенный интерес для использования в качестве катодов для среднетемпературных топливных элементов и кислородпроводящих мембран. Празеодимсодержащие оксиды имеют наиболее высокие коэффициенты химической диффузии кислорода в ряде никелатов. Однако, на текущий момент имеется мало данных по кислородной проводимости этих систем в условиях градиента химического потенциала кислорода, что и определило их выбор в качестве объектов исследования.

Исходные оксиды Pr<sub>2-x</sub>NiO<sub>4-□</sub> (x = 0,0 – 0,3), далее обозначаемые как PNO-(2-x), были синтезированы в Лаборатории катализаторов глубокого окисления Института катализа с использованием оригинального метода полимеризованных сложноэфирных предшественников (метода Пекини). Тонко измельченные порошки оксидов были спрессованы в таблетки диаметром 12 мм и толщиной 1,5 мм и затем отжигались на воздухе при температуре 1300°С в течение часа до достижения 92 - 96 % теоретической плотности. Чтобы обеспечить требуемую воспроизводимость свойств образцов, после отжига они быстро охлаждались на воздухе до комнатной температуры.

Для исследования кислородной подвижности образцов использовались высокотемпературная рентгеновская проточная камера-реактор Anton Paar XRK-900 и установка для смешения газов. Эксперименты по релаксации включали в себя несколько этапов. Сначала образцы нагревались в потоке смеси N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> с исходным pO<sub>2</sub> ~ 0,2 атм со скоростью 15 °С/мин до требуемой температуры. По достижении этой температуры образец выдерживался некоторое время до достижения равновесного состояния в заданных условиях. Затем pO<sub>2</sub> в смеси менялось до 0,01 атм и наблюдалась релаксация структуры образцов. Регистрация дифрактограм производилась с использованием позиционно-чувствительного беспараллаксного детектора ОД-3М, при этом регистрируемый диапазон углов дифракции составлял ~ 48 ÷ 79°. Длина волны излучения определялась однократным отражением от кристалла монохроматора Ge(111) и составляла 1,7239 Å.

Согласно рентгенодифракционным данным все исходные образцы представляли собой однофазные системы с орторомбической симметрией (пр. гр. Fmmm), причем симметрия образцов повышалась при нагреве в атмосфере с pO<sub>2</sub> ~ 0,2 атм до тетрагональной (пр. гр. I4/mmm, Рис. 6.2.14). В процессе релаксации симметрия образцов не менялась.

Типичная кривая релаксации представлена на Рис. 6.2.15. Здесь в качестве параметра взят нормализованный объем элементарной ячейки V<sub>t</sub>/V<sub>∞</sub>, то есть отношение объема в момент времени t к равновесному. Обработка данных проводилась в приближении модели бесконечной пластины, в которой нормализованные кривые релаксации описывались уравнением (6.2.)1:

$$\frac{V - V_0}{V_\infty - V_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2L^2}{\beta_n^2(\beta_n^2 + L^2 + L)} \exp(-4\beta_n^2 t D_{chem}/l^2) \quad (6.2.) 1$$

$$L = lk_{chem}/2D_{chem}, \quad \beta_n \tan(\beta_n) = L \quad (6.2.) 2$$

где  $V$  – объем элементарной ячейки;  $t$  – время;  $l$  – эффективная глубина проникновения излучения в образец; индексы 0 и  $\infty$  относятся к начальному и равновесному состояниям образца, соответственно;  $D_{chem}$  и  $k_{chem}$  – коэффициенты химической диффузии и поверхностного обмена, соответственно. Оценка коэффициента химической диффузии при 470° С дает значение  $\log(D_{chem}) = -4,8 \pm 0,3$  см<sup>2</sup>/сек, что находится близко к значениям, полученным методом массовой релаксации образца.

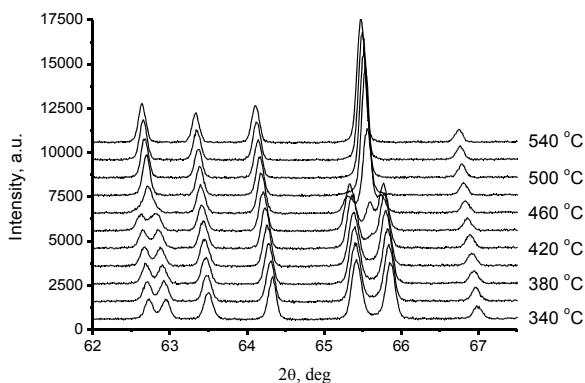


Рис. 6.2.14 Дифрактограммы PNO-1.8 при нагреве в атмосфере с  $p_{O_2} \sim 0,2$  атм, длина волны 1,7239 Å).

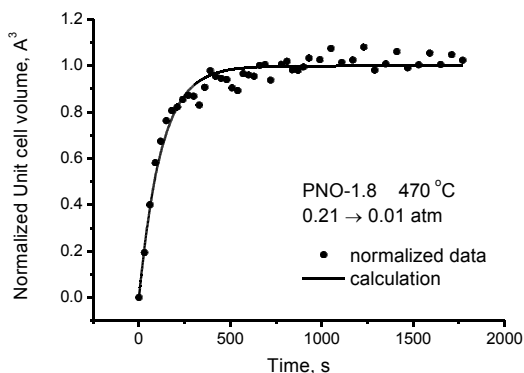


Рис. 6.2.15. Кривая релаксации нормализованного объема элементарной ячейки для образца PNO-1.8 при изменении  $p_{O_2}$ , сплошной линией показана расчетная кривая для определения коэффициентов диффузии и поверхностного обмена.

#### «*In Situ* исследование автоколебаний в реакции окисления метана на никеле методами рентгеновской дифракции».

На станции «Прецизионная дифрактометрия» Сибирского Центра Синхротронного и Терагерцового Излучения проведены эксперименты по изучению ав-

токолебаний в реакции окисления метана на никеле методом рентгеновской дифракции *In Situ*. Для выполнения работы станция была оснащена системой напуска газов на основе регуляторов расхода газа (PPF) Smart-Trak 50 (Sierra) и масс-спектрометром SRS UGA-100 для анализа состава газовой фазы на выходе из рентгеновской высокотемпературной камеры-реактора XRK-900 (Anton Paar). Схема установки представлена на рисунке 6.2.16.

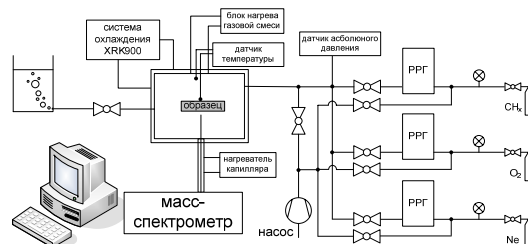


Рис. 6.2.16. Схема установки на основе камеры-реактора XRK-900 для *In Situ* исследований методами РФА и масс-спектропии.

Применение метода рентгеновской дифракции в режиме *In Situ* позволило показать, что в ходе автоколебаний меняется химический и фазовый состав поверхностного слоя катализатора. Типичные дифрактограммы приведены на Рис. 6.2.17. Установлено, что в состоянии высокой активности никель в приповерхностном слое находится в металлическом состоянии, переход в состояние низкой активности сопровождается образованием на поверхности слоя NiO. Анализ газовой смеси на выходе из реактора показывает, что в активный полупериод основным маршрутом реакции является парциальное окисление метана до CO и H<sub>2</sub>, побочными продуктами являются CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O.

Таким образом, проведенное исследование позволило однозначно установить, что возникновение автоколебаний в реакции каталитического окисления метана определяется периодическим окислением/восстановлением никеля.

#### 6.2.4. Станция «Рентгенофлуоресцентный анализ».

Станция предназначена для определения элементного состава образцов различного происхождения: геологических пород, биологических тканей, аэрозолей и др., методом рентгенофлуоресцентного элементного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ). Элементный анализ может быть осуществлен как в локальном, так и в сканирующем режиме.

Участвующие организации:

- Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,
- Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск,

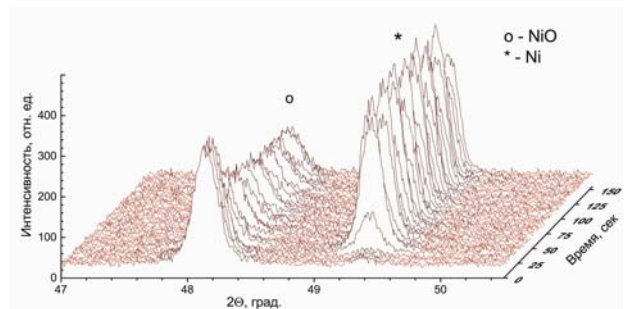
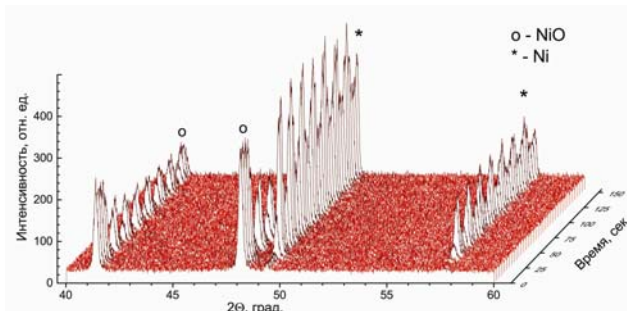
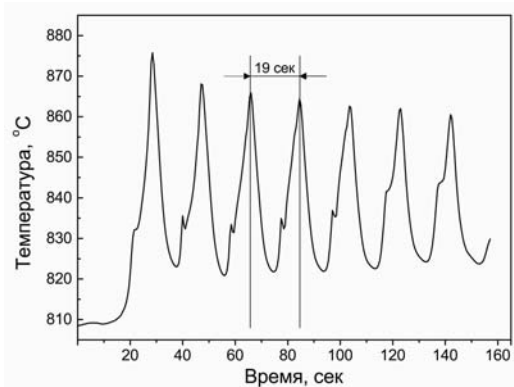


Рис. 6.2.17. Осцилляции температуры катализатора, наблюдаемые в ходе окисления метана на никеле, и соответствующие изменения рентгенограмм.

- Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,
- Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск,
- Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск,
- Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН, г. Красноярск,
- Институт Археологии и Этнографии СО РАН, г. Новосибирск,
- Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск,
- Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск,
- Институт терапии СО РАМН, г. Новосибирск,
- Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург.

В 2013 году работы на станциях проводились при финансовой поддержке следующих проектов:

- Междисциплинарный интеграционный проект Президиума СО РАН №34 «Цикличность в биогеологических седиментационных системах Центральной Азии на абсолютной временной шкале голоцена: глобальный отклик солнечно-земных связей»
- РФФИ №13-05-00871\_А «Природные климатические циклы в литолого-геохимических характеристиках ленточных глин озер Центральной Азии»
- РФФИ 13-06-00782 «Комплексное изучение носителей культуры хунну из элитных и рядовых погребений Северо-Восточной Монголии и Забайкалья»
- Междисциплинарный интеграционный проект Президиума СО РАН №50: «Реконструкция годичной динамики ледников Восточной Сибири за последние тысячелетия на основе изучения донных осадков прогляциальных озер и наземных разрезов».
- Программа фундаментальных исследований СО РАН на 2013 – 2016 г.г. Научный проект V.46.5: «Исследование физико-химических процессов образования, распространения, трансформации и миграции дисперсных веществ в объектах окружающей среды»
- 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)»
- РФФИ № 12-05-00057 «Природные аналоги цементного клинкера: минералогия, геохимия, процессы гидратации и коррозии».

• Программы СО РАН «Импортзамещение» 2013, проект № 54 «Сканер с высоким пространственным разрешением на основе поликапиллярной оптики для РФА-анализа».

Примеры работ в 2013 году:

**Поиск природной цикличности в системах озерной седиментации для создания прогнозных моделей динамики климата на средне-краткосрочный период.**

Перспективность этого направления исследований можно продемонстрировать на примере ранее проведенных работ по озеру Телецкому (Горный Алтай). В 2010 году, на основе выявленных природных циклов, для оценки динамики климата региона была построена прогнозная функция на ближайшие десятилетия. Сравнение полученных оценок с реальным изменением температуры региона за 2010-13 годы показало хорошую сходимость.

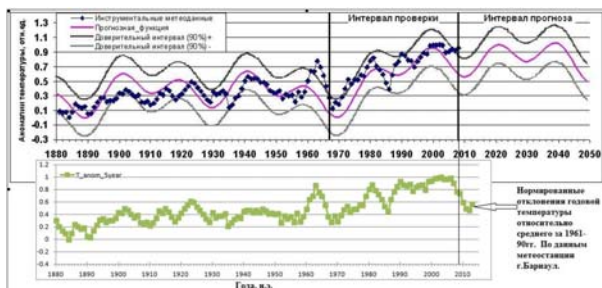


Рис. 6.2.18. Сравнение прогноза динамики годовых температур, построенного по данным природной периодичности реконструкций палеотемператур региона Горного Алтая на основе высокоразрешающих исследований донных осадков озера Телецкое с метеоданными на интервале 2009-2013годы.

Для решения поставленной задачи исследования распределения геохимических индикаторов вдоль кернов донных осадков, были выполнены измерения состава с шагом, соответствующим 1 году на временной шкале. Полученные временные ряды обрабатывались математическими методами с поиском природных циклов с периодами от 3-5 до 1000 лет.

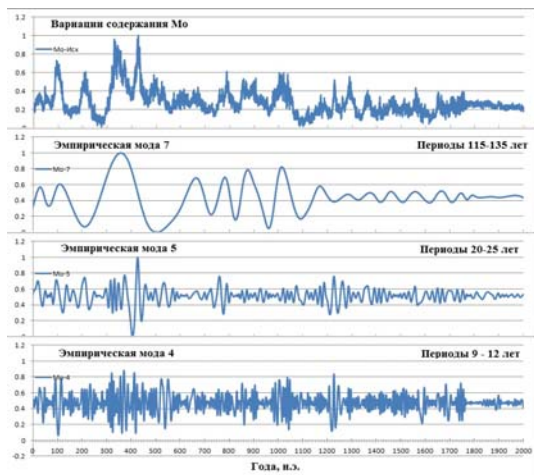


Рис. 6.2.19. Профиль вариаций содержаний Мо в керне донных осадков оз.Телмен на временном интервале 0- 2000 г.н.э. и эмпирические моды, описывающие циклы с периодами 120, 20 и 10 лет, выделенные методом Гильберта-Хуанга [Huang, Wu, 2008].

### Изучение процессов сезонного осадкообразования в озерах содержащих ежегодноламинированные (варвные) осадки.

Основные объекты исследования – варвные озера Хакасии – Ши́ра и Беле. Мощность годовых слоев в изучаемых образцах составляла от 0,3 до 2 мм. Детальное сканирование, проведенное как на станции элементного анализа ЦКП СЦСТИ с использованием рентгеновской оптики, так и на станции micro-Spot (BESSY, Берлин), позволило построить модель годо-

вого цикла осадкообразования, найти индикаторы, маркирующие начало и конец цикла и установить основные связи структуры и состава осадка с погодноклиматическими параметрами внешней среды.

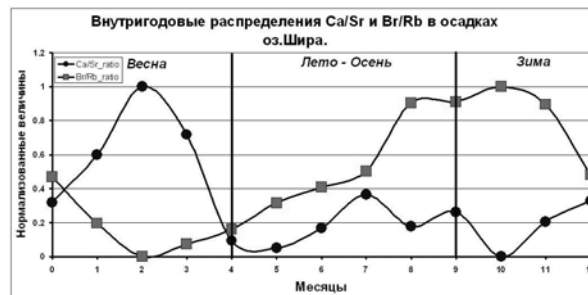


Рис. 6.2.20. Геохимические индикаторы, маркирующие начало (Ca/Sr) и конец (Br/Rb) годового слоя в донных осадках оз.Ши́ра получены на основе экспериментального измерения распределения микроэлементов внутри 16 годовых слоев. Шаг сканирования 20-50 мкм.

Временная модель для осадков, содержащих ежегодноламинированные годовые слои, строится либо на основе прямого подсчета всех визуально выделяемых слоев (оптические шлифы), либо на основе оценки средней скорости осадконакопления по нескольким интервалам керна. Затем полученные результаты проверяются по данным изотопных исследований ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{Si}$ ). В наших исследованиях также использованы геохимические маркеры. Пример временной модели для современных осадков озера Ши́ра, построенной по геохимическим маркерам, представлен на рисунке 6.2.21.

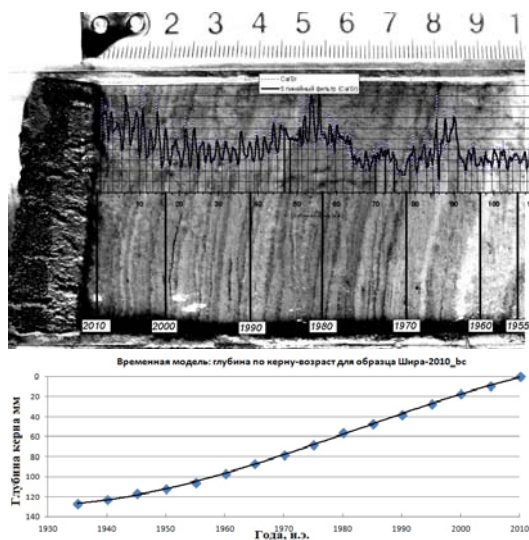


Рис. 6.2.21. Вверху - подсчет годовых слоев по геохимическому маркеру отношению Ca/Sr в керне донных осадков озера Ши́ра. Внизу – временная модель для интервала 0 - 140 мм.

Абсолютная временная шкала, точное выделение

годовых слоев и детальные внутригодовые исследования позволяют установить количественную связь региональных погодных-климатических параметров и литолого-геохимических свойств осадка

### Комплексное изучение носителей культуры хунну.

Методом РФА-СИ был проанализирован 41 образец прядей волос из кургана №22. Во всех образцах волос было обнаружено крайне высокое содержание Си, а также высокое содержание Нг. Концентрация меди в волосах находится в большом диапазоне: от 750 до 20000 мкг/г. При этом, большая часть исследованных волос (35 образцов из 41) имеет концентрацию меди от 1050 до 4700 мкг/г. В остальных 6 образцах значения концентрации меди существенно больше (9300; 7200; 7100; 8400; 9300; 20000 мкг/г), что может свидетельствовать о близком контакте с медными предметами.

Содержание ртути в волосах так же колеблется в большом диапазоне - от 2,3 мкг/г до 1100 мкг/г. В 6 образцах волос концентрация ртути 4,8; 3,9; 4,8; 2,3; 5,9; 5,2 мкг/г, что в 2-5 раз выше, чем в глине, взятой из погребения. В остальных 35 образцах концентрация ртути оказалось еще больше: 20 из них, содержат ртуть в интервале 10-100 мкг/г, остальные 15-100 до 1000 мкг/г. Из полученных данных следует, что волосы содержат ртути намного больше, чем глина, в которой они залежали. В большей части образцов (86%) концентрация ртути на 2-3 порядка больше по сравнению с глиной (1,1 мкг/г). Следовательно, глина погребальной камеры не могла быть источником ртути для волос.

В целом, полученные данные, а также некоторые литературные данные, указывают на экзогенный характер накопления меди в образцах волос, что может быть связано с наличием в погребениях различных медных и бронзовых предметов.

### Реконструкция годичной динамики ледников Восточной Сибири за последние тысячелетия на основе изучения донных осадков прогляциальных озер и наземных разрезов.

На основе изучения распределения элементного состава кернов из прогляциальных озер, примыкающих к ледникам Кодарского, Байкальского хребтов и Восточного Саяна, определена динамика поступления ледниковой взвеси, как отклик гидрологического баланса ледников на климатические изменения, за последние 400 лет. Наиболее низкой интенсивность поставки ледниковой взвеси была в ~ 1700 - 1770 и 1945 - 1960 годах, что может свидетельствовать о низкой абляции ледников в эти периоды. Наибольшую амплитуду колебаний гидрологического баланса имел Сыгыктинский ледник (Кодарский хр.), а наименьшую ледник горы Черского (Байкальский хр.). Летописи показывают, что имеется устойчивый тренд на увеличение интенсивности их дегляциации в 2000-х годах.

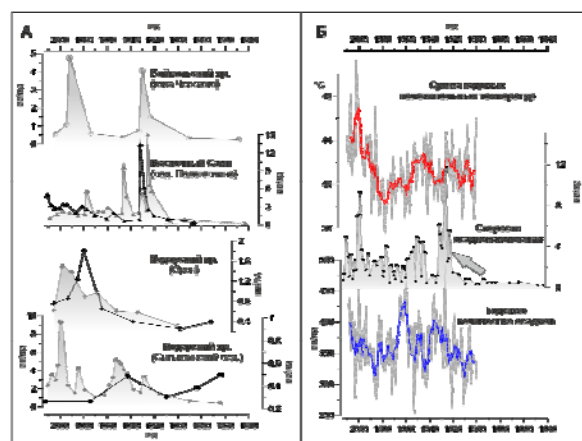


Рис. 6.2.22. А - распределение скоростей осадконакопления (СО) в прогляциальных озерах, Б - сравнение единых СО с осредненными климатическими параметрами региона.

На основе инструментальных измерений температурного режима в районе ледника Перетолчина, определено, что минимальная температура практически не изменяется, но разброс температур возрос в 2 раза, что говорит о переходных климатических режимах. Это подтверждается климатическими и гляциологическими явлениями в районе ледника Перетолчина. 2012 год был аномально неблагоприятный для процессов оледенения — ледник существенно сократился, особенно в толщину, разбился на фрагменты, обнажив гряды современных конечных морен. 2013 год проявился как аномально благоприятный для нивально-гляциальных процессов — ледник практически сохранил свои зимние формы, заполнив снежно-ледовыми массами участки, от которых ледник отступил в предыдущие годы. Вероятно, так проявляются переходные погодные процессы в середине межледникового периода. В горнотаежной зоне массива Мунку-Сардык (устье р. Леяного) был открыт новый своеобразный каменный глетчер (поток).

### Исследование роли атмосферных аэрозолей в миграции химических элементов в тканях живых организмов и в объектах окружающей среды.

В рамках исследований миграции дисперсных веществ в объектах окружающей среды были продолжены работы по определению комплекса химических элементов, входящих в состав атмосферных аэрозолей, их содержание в объектах окружающей среды и взаимосвязь с параметрами здоровья человека.

Совместные исследования с НИИ терапии СО РАМН показали, что старческий возраст (80 - 89 лет) и сердечнососудистые заболевания ассоциируются с избытком ряда химических элементов (Ca, Fe, Cu, Zn, Br, K) и со снижением содержания Se, Zr, в крови пациентов.

### Исследование донных отложений термальных озер кальдеры вулкана Узон.

С помощью неразрушающего послойного сканирования были получены распределения химических элементов вдоль профиля ядер донных отложений термальных озер «Фумарольное», «Хлоридное», «Сизого котла». Распределение большинства элементов вдоль разреза неравномерное, наблюдаются пиковые значения в концентрациях элементов, которые могут отличаться от средних значений концентраций по разрезу в 4 - 5 раз. Наиболее интересными в плане неоднородности по разрезу являются такие элементы, как Ca, Sr, As, Sb, C, S, Zn; отдельно стоит выделить Cs, концентрация которого скачкообразно повышается более чем в пять раз на глубине 27,5 см. Данные полученные методом РФА-СИ хорошо коррелируют с данными атомной абсорбции.

Отдельно стоит отметить поведение функции содержания цинка от глубины. Это монотонно возрастающая функция, со средним значением концентрации цинка равным 70 ppm, график которой осложнен тремя «точечными» максимумами. Максимумы эти необычны своим «точечным» поведением, то есть буквально пик максимума состоит из одной точки, так как шаг сканирования равнялся 1мм, то можно сделать вывод, что размеры аномалии, отвечающей за повышенное содержание цинка, имеют незначительные геометрические размеры, не превышающие 0,1 мм по вертикали. Несмотря на их малые размеры микро-частицы, они легко обнаруживаются методом РФА-СИ.

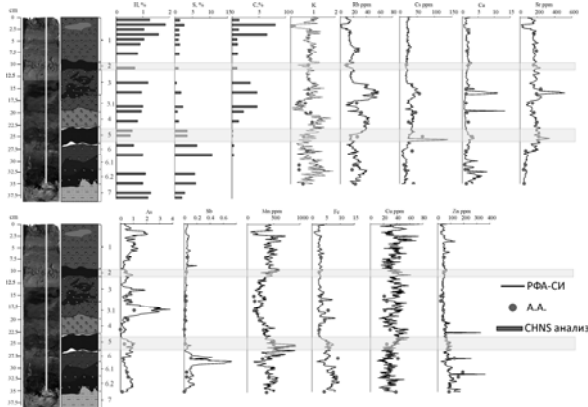


Рис. 6.2.23. Распределение химических элементов вдоль профиля ядра донных отложений озера Фумарольного, полученное с помощью метода РФА-СИ.

#### Исследование природных аналогов цементного клинкера.

Установлены особенности фазообразования и фракционирования P, S, Se, F, Br, I, Li, Na, K, Sr, Ba, Zr, Ti, V, Cr, Ni, Cu, Zn, U в процессах природного обжига смесей фосфато-силикато-карбонатных пород, выявлены элементы, способствующие долговременной стабилизации клинкерных минералов.

Комплексный анализ естественных пирометаморфических пород – аналогов сульфоалюминатных це-

ментных клинкеров – позволил выявить особенности фазообразования и фракционирования элементов между минеральными фазами, на экспериментальное и технологическое моделирование которых потребовалось бы значительное время и средства. Крупные (в сравнении с техногенными продуктами) размеры минеральных индивидов, слагающих природные аналоги сульфоцементного клинкера, впервые позволили количественно охарактеризовать особенности фракционирования 20 элементов в процессах обжига сырьевых смесей сложного состава. Этот подход открывает возможности практического использования в цементном производстве природных сырьевых материалов сложного фазового состава.

#### Создание сканера с высоким пространственным разрешением на основе поликапиллярной оптики для РФА-анализа.

Сканер с высоким пространственным разрешением на основе поликапиллярной оптики необходим для исследования ядер донных отложений методом рентгенофлюоресцентного элементного анализа. Исследование элементного состава озёрных осадков необходимо для определения закономерностей изменения относительного содержания элементов в зависимости от окружающих условий. Высокое пространственное разрешение, обеспечиваемое поликапиллярной оптикой и механическими характеристиками сканера, требуется для наиболее полного установления этих закономерностей и сопоставления их с другими индикаторными признаками, что позволяет расшифровать «палеоклиматические летописи», определить рубежи смены климатических условий, а также выявить флуктуации более низкого порядка в рамках отдельных периодов похолодания/потепления.

Опытный образец сканера был создан и введён в эксплуатацию на экспериментальной станции РФА-СИ. Проведены тестовые испытания, которые показали, что пространственное разрешение рентгенооптической системы составляет менее 10 мкм.

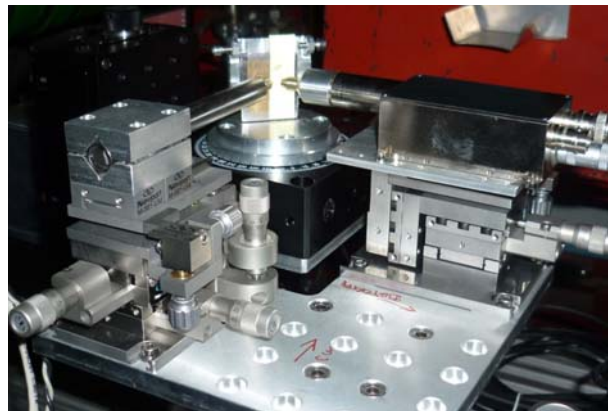


Рис. 6.2.24. Сканер с высоким пространственным разрешением на станции РФА-СИ.

6.2.5. Станция «Дифрактометрия с использованием жесткого рентгеновского излучения».

Станция предназначена для дифракционных исследований структуры веществ с использованием жесткого рентгеновского излучения.

Участвующие организации:

- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН;
- Институт геологии и минералогии СО РАН;
- Институт ядерной физики имени Будкера СО РАН;
- Институт катализа СО РАН;
- Институт физики металлов УрО РАН.

В 2013 году работы на станции проводились при финансовой поддержке следующих проектов и договоров:

- 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 годы;

- Проект РФФИ 11-05-01121-а «Динамика решетки микропористых минералов при их взаимодействии с водной средой при высоких давлениях», 2011-2013 годы;

- Проект РФФИ 12-05-31431-мол-а «Источники калия в субдуцирующей океанической литосфере и его поведение в процессе субдукционного метаморфизма», 2012-2014 годы;

- 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 годы;

- Проект РФФИ 13-05-00185-а «Механизмы образования и стабильность водосодержащих высокобарических силикатов системы MgO–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O в условиях субдукции океанической литосферы» 2013-2015 годы;

- Проект РФФИ 13-05-00457-а «Микропористые алюмосиликаты при высоком давлении: влияние топологии каркаса и состава внекаркасной подсистемы на сжимаемость и структурные превращения» 2013-2015 годы;

- Грант Правительства Российской Федерации № 14В25.31.0032 «Экспериментальное исследование вещества при сверхвысоких давлениях и создание согласованной термодинамической модели глубинного строения Земли» (рук. д.г.-м.н. К.Д. Литасов, ИГМ СО РАН; проф. Е. Отани, университет Тохоку, Япония). 2013-2015 годы;

- ГК № 14.513.11.0056 «Разработка научно-технических основ получения нанопрекурсоров и радиационно-термического синтеза ферритовой керамики для применения в радиоэлектронике и приборостроении с использованием интенсивного электронного пучка с

энергией до 5 МэВ и методов синхротронного излучения для анализа продуктов».

Примеры работ в 2013 году:

**1. Исследование стадийности фазообразования при химическом взаимодействии металлов, сплавов и их механокомпозигов с расплавами других металлов и сплавов.**

Целью работы является исследование процессов физико-химического взаимодействия между металлами, сплавами и механокомпозитами, находящимися в твердом состоянии, и расплавами металлов и сплавов. В настоящее время не существует непротиворечивой теории таких взаимодействий. Путем проведения *in situ* рентгендифракционных исследований с использованием «жесткого» (энергия квантов 33,7 кэВ) синхротронного излучения изучить процессы фазообразования в системах с никелем и его сплавами с расплавами на основе олова. Путем накопления экспериментальных данных разработать подход к созданию теории физико-химических взаимодействий в различных системах твердый металл – жидкий металл. Такая теория позволит целенаправленно подходить к созданию новых материалов. Интерес к исследованиям стадийности фазообразования в системе никель-олово обусловлен тем, что интерметаллические соединения никеля и олова могут использоваться в качестве анодных элементов литиевых аккумуляторов. Кроме того, понимание процессов взаимодействия никеля с бесцинковыми припоями на основе олова также очень важно для электронной промышленности.

Образцы для исследований готовились путем многократной прокатки порошка никеля или твердого раствора на основе никеля с фольгой из олова или сплавов на основе олова.

Исследования стадийности фазообразования в смеси никелевого порошка и оловянной фольги эквивалентного состава показало, что процесс образования интерметаллида Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> начинается после плавления олова. Образуется интерметаллическое соединение с максимальным содержанием легкоплавкого компонента, Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>. При нагреве до 380 °С начинается переход в фазу Ni<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>, который заканчивается через 2 часа при температуре около 600 °С. Взаимодействие олова с механокомпозитом никеля и олова происходит так же, как и никеля с оловом, за исключением появления небольшого количества фазы Ni<sub>3</sub>Sn. Полного перехода Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> в Ni<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub> не происходит.

Надо заметить, что процесс взаимодействия никеля и олова происходит при температурах выше температуры плавления олова, на дифрактограммах не наблюдается гало от жидкой фазы. Вероятно, данный эффект связан с наличием в системе вырожденной эвтектики, и образование интерметаллических соединений в системе Ni-Sn происходит путем растворения никеля в тонком слое эвтектического расплава, в котором и происходит кристаллизация.

Исследовалось взаимодействие никеля со сплавом олова и индия эвтектического состава. При нагреве образца выше температуры плавления наблюдается



стремительный рост  $\beta$ -фазы из системы In-Ni.  $\beta$ -фаза содержит 56 ат.% индия (в среднем) и существует в области температур 950 - 770 °С. Дальнейший нагрев до 160 °С приводит к появлению фазы  $\text{In}_7\text{Ni}_3$  с исчезновением  $\beta$ -фазы. При нагреве выше 400 °С наблюдается формирование фазы  $\text{In}_3\text{Ni}_2$ . Не обнаружено фаз, образованных с участием олова. Можно предположить, что олово входит в структуру фаз, образованных на основе индия, и замещает индий в решетке.

Исследовалось взаимодействие меди со сплавом олова и индия эвтектического состава. Для исследования были взяты образцы, приготовленные путем многократной прокатки индий-оловянной фольги и порошка меди, приготовленные три года назад. В образце, кроме ранее существовавших фаз меди,  $\text{In}_3\text{Sn}$  и  $\text{InSn}_4$ , было зафиксировано появление новой, неизвестной фазы. При нагреве до 100 °С рефлексы от данной фазы исчезают. Таким образом, используя эвтектические составы и различные механокомпозиты можно получать материалы с новыми свойствами.

## 2. Сжимаемость и структурное поведение нафталина, модельного соединения полициклических ароматических углеводородов, при 0-6 ГПа.

Интерес к этим соединениям связан с их присутствием в глубинном веществе Земли (включения в мантийных минералах) и метеоритах, с одной стороны, и недостаточной изученностью их поведения при высоком давлении. Полученные дифракционные данные показывают регулярное сжатие структуры нафталина и сохранение исходной моноклинной фазы (простр.гр.  $P 2_1/c$ ) до 6 ГПа. Выраженная анизотропия сжатия (Рис. 6.2.25) обусловлена различной ориентировкой молекул  $\text{C}_{10}\text{H}_8$  внутри и между слоями, образующими «елочную» структуру Рис. 6.2.26. Структура нафталина, включая координаты атомов водорода, уточнялась методом Ритвельда. В изученном диапазоне давлений внутримолекулярные расстояния С-С и С-Н уменьшаются на 3,5%, тогда как межмолекулярные расстояния внутри и между «елочными» слоями уменьшаются, соответственно, на 18 и 10%. Барическая зависимость расстояний для межслоевых контактов (Рис. 6.2.26) имеет отчетливый перегиб в области 2 ГПа, и при дальнейшем повышении давления их сжимаемость сильно уменьшается из-за сближения атомов водорода соседних молекул. Межмолекулярные расстояния внутри слоев, напротив, сокращаются регулярно во всем диапазоне давлений. Это подразумевает изменение структурного механизма сжатия в сторону преимущественного сокращения межмолекулярных расстояний внутри слоев при  $P > 2$  ГПа. Наблюдаемые при 2 ГПа структурные аномалии согласуются с зафиксированными в этой области давлений высокочастотными сдвигами некоторых решеточных фононов нафталина, связанных с либрационными колебаниями молекул и валентными С-Н колебаниями.

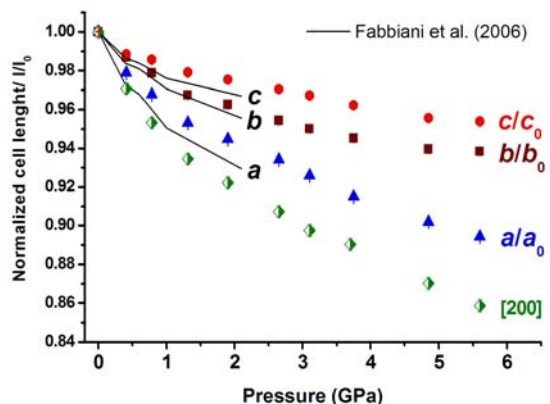


Рис. 6.2.25. Барическая зависимость параметров элементарной ячейки нафталина (простр.гр.  $P 2_1/c$ ) в сравнении с литературными данными.

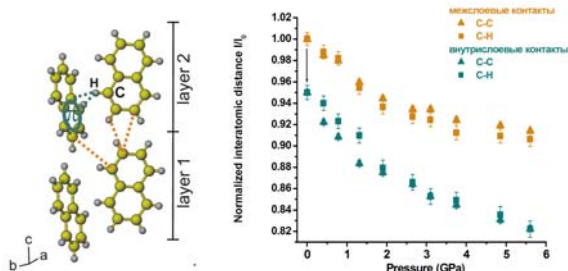


Рис. 6.2.26. Структура нафталина с выделенными внутрислоевыми (зеленый) и межслоевыми (оранжевый) межмолекулярными контактами и барическая зависимость их расстояний.

## 3. Радиационно-термический синтез никель-цинковый и марганец-цинковый ферритовой керамики.

Проведены эксперименты по дифракции СИ и фазовый анализ продуктов радиационно-термического синтеза ферритовой керамики составов  $(\text{Ni}_{0.75}\text{Zn}_{0.25})\text{Fe}_2\text{O}_4$ ,  $(\text{Mn}_{0.6}\text{Zn}_{0.4})(\text{Fe}_{0.75}\text{Mn}_{0.25})_2\text{O}_4$  и других, полученных в различных режимах работы промышленного ускорителя ИЛУ-6. Построены зависимости степени превращения от температуры синтеза, мощности пучка в единичном импульсе и времени облучения. Получены кинетические кривые ex-situ синтеза никель-цинкового феррита в процессе его обработки интенсивным пучком электронов с энергией 2,4 МэВ. Показано, что радиационный эффект в зависимости от температуры скорее соответствует модели активных центров химической реакции, нежели модели возмущения всей системы. Анализ кинетики радиационно-термического синтеза феррошпинелей и характеристика продуктов реакции представлены в опубликованных работах.

**4. Исследование нано-доменной структуры перовскитоподобных оксидов на основе ферритов стронция, имеющих высокий дефицит по кислороду.**

Исследован фазовый состав и особенности нано-доменного состояния серии ферритов стронция  $\text{SrFe}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{3-\delta}$  ( $M = \text{V}; \text{Mo}; x = 0 \div 0,2$ ) с высокой степенью кислородной нестехиометрии  $2,5 \leq 3 - \delta \leq 2,7$ . Методами компьютерного моделирования дефектных структур и рентгеновской дифракции на них показано, что в зависимости от способа организации нано-доменов и присутствующих в структуре протяженных дефектов, результирующие дифракционные эффекты имеют различные особенности. Систематический анализ дифракционных эффектов, полученных экспериментально, показал, что с увеличением степени замещения высоkozарядными катионами и кислородной нестехиометрии система нано-доменов эволюционирует в сторону уменьшения размера доменов и усложнения их внутренней организации. При исследованиях нано-доменных состояний нестехиометрических оксидов используются уникальные методы и подходы, подобных исследований в мире больше нигде не производят.

**5. Аprobация нестандартных дифракционных методов на СИ с использованием двухкоординатного детектора.**

С использованием жесткого излучения СИ и двухкоординатного детектора успешно опробован ряд нестандартных дифракционных методов:

- а) Получены экспериментальные дифрактограммы тестовых образцов в диапазоне векторов обратного пространства  $Q$  до  $19 \text{ \AA}^{-1}$  и рассчитаны функции радиального распределения атомов (PDF) хорошего качества. Преимуществами метода съемки на просвет двухкоординатным детектором по сравнению с традиционным способом получения дифрактограмм для PDF в геометрии по Бреггу-Брентано является возможность производить неразрушающее изучение структуры в объеме материала, малые требования к объему исследуемого образца (до  $1 \text{ мм}^3$ ), хорошая статистика дифрактограмм и относительно малые времена съемки. Все эти качества в перспективе позволят исследовать структуру таких сложных объектов, как коллоидные растворы или стабилизированные в полимерной матрице наночастицы, что не позволяла конструкция традиционных дифрактометров.
- б) Также была проведена серия экспериментов по съемке тонких пленок в геометрии скользящего падения. Показано, что этот метод позволяет изучать кристаллическую структуру тонких пленок  $\sim 200 \text{ мкм}$ , нанесенных на стекло, неразличимую в геометрии на просвет: на фоне сигнала от аморфного стекла становятся видны пики от структуры самой пленки. Несмотря на успешную апробацию, этот метод имеет мало перспектив по сравнению с реализацией геометрии скользящего падения на дифрактометре, предназначенном для съемки образцов на отражение.

**6.2.6. Станция «Дифракционное кино».**

Станция предназначена для дифракционных экспериментов с временным разрешением, в том числе и в малых углах, дифрактометрия общего назначения.

Участвующие организации:

- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН;
- Новосибирский государственный технический университет;
- Институт неорганической химии СО РАН;
- Институт теплофизики СО РАН.

Примеры работ в 2013 году:

**Характеризация тонких пленок кремния.**

Тонкие пленки аморфного, нанокристаллического, микрокристаллического, поликристаллического кремния находят широкое применение в приборостроении и солнечной энергетике. Эти пленки используются в качестве активных слоев жидкокристаллических (ЖК) дисплеев с активной матрицей, солнечных элементов и т.д. Структурные свойства пленок являются важными параметрами и существенно влияют на характеристики таких устройств. Для исследования структурных свойств таких пленок обычно используют спектроскопию комбинационного рассеяния света и рентгеноструктурный анализ, причем второй позволяет получать более детальную и точную информацию о размере кристаллитов, их кристаллографической ориентации. Тонкие кристаллические пленки кремния на стеклянной подложке позволяют решить проблемы создания дешевых солнечных элементов большой площади и высокой эффективности. Перспективным способом получения таких пленок является двухстадийный процесс: первая стадия – высокоскоростное осаждение пленок аморфного кремния, вторая стадия - твердотельная кристаллизация этих пленок с формированием необходимой степени кристалличности и размеров кристаллитов.

Работа посвящена исследованию процессов твердотельной кристаллизации пленок аморфного гидрогенизированного кремния синтезированных методом газоструйного химического осаждения с активацией электронно-пучковой плазмой с целью получения пленок нанокристаллического кремния. Этот метод обеспечивает высокие скорости осаждения (до  $2,3 \text{ нм/с}$ ) из аморфного кремния тонких пленок в стандартной вакуумной камере. Пленки осаждались на кварцевые подложки и отжигались в вакууме при температуре  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ . Исследовались структурные и оптические свойства свежесаженных аморфных пленок и нанокристаллических пленок после отжига.

Размер кристаллитов можно оценить по уширению дифракционных пиков. Лабораторные установки оказались непригодны для данных образцов – сказались малая интенсивность и большая расходимость пучка, слабая рассеивающая способность тонких пленок. Поэтому их изучение было проведено на канале 5б с использованием однокоординатного детектора ОД-

3М. Он ставился в положение с максимальным охватом дифракционных линий кристаллического кремния ( $2\theta \sim 25 - 56^\circ$ ). Длина волны составляла 1,516 Å. Ввиду уже отмечавшейся слабой рассеивающей способности образцов время экспозиции составляло 20 минут. После нормировки удаление фонового сигнала проводили вычитанием из дифракционных данных от пленок сигнала от чистой подложки (Рис. 6.2.27). Далее дифракционные пики аппроксимировали гауссианами (Рис. 6.2.28). Размер частиц оценивали по формуле Дебая-Шерера.

Таблица 6.2.1. Результаты обработки

Образец	Номер пика	Положение	Ширина	ОКР, Å
TQA2	1	27,90	1,07	83
	2	46,63	2,25	42
	3	54,96	2,11	46
TQA4	1	27,93	1,31	68
	2	46,72	2,67	35
	3	54,9	2,67	37
TQA6	1	27,9	1,59	56
	2	46,77	2,87	33
	3	54,92	2,79	35
TQA8	1	27,99	1,46	61
	2	46,79	2,15	44
	3	55,15	2,06	47

Интересно отметить, что для всех образцов размера ОКР по плоскости (111) несколько больше, что, возможно, свидетельствует о наличии текстурирования.

Таким образом, измерения зависимости свойств аморфных (свежеосажденных) кристаллических (после отжига) пленок от температуры осаждения в диапазоне от 190 °С до 415 °С. Средний размер кристаллитов был измерен с помощью рентгеноструктурного анализа, степень кристалличности (59 – 46 %) оценивалась методом спектроскопии комбинационного рассеяния. Для измерения оптических свойств и толщины пленок измерялись оптические спектры пропускания. Измерены показатели преломления и оптическая ширина запрещенной зоны как для аморфных, так и нанокристаллических пленок. Поведение показателя преломления нанокристаллического кремния в зависимости от температуры осаждения коррелирует со степенью кристалличности. Таким образом показано, что данный способ позволяет получать пленки нанокристаллического кремния с размером кристаллита 4 – 8 нм изменяемой степенью кристалличности.

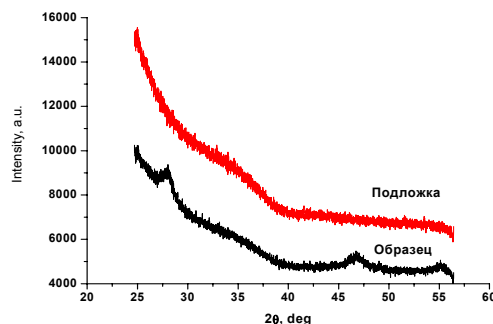


Рис. 6.2.27. Дифрактограммы чистой подложки (верхняя) подложки с образцом нанесенного кремния (нижняя).

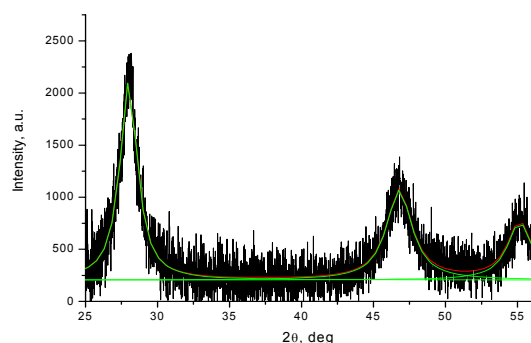


Рис. 6.2.28. Результат вычитания сигнала от подложки из сигнала от образца и аппроксимация полученных пиков гауссианами.

### 6.2.7. 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.

Участвующие организации:

- Институт физики полупроводников СО РАН;
- Институт неорганической химии СО РАН;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН;
- Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск;
- Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск;
- Институт Ядерной Физики СО РАН.

В 2013 году работы на станции проводились при финансовой поддержке следующих проектов и договоров:

- Программа № 24 «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов», проект № 69 «Применение EXAFS и XANES спектроскопии для исследования микроструктуры SiGe квантовых колец на поверхности Si(100), квантовых точек GaN/AlGaN и сверхрешеток AlGaN/AlN с квантовыми ямами».

- 12-02-00262-а. Исследование микроструктуры и электронного строения калиброванных кластеров золота в кукурбит[*n*]урилах с использованием XAFS спектроскопии.

- 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.

- 12-03-00131 Неравновесное фазообразование в трехкомпонентных оксидных пленках, получаемых легированием HfO<sub>2</sub> редкоземельными элементами.

- 12-02-00930-а, Синтез AlGaN/AlN структур с квантовыми точками, исследование их люминесцентных и генерационных свойств при возбуждении низковольтными электронными пучками.

- 12-02-00453а. Экспериментальные и теоретические исследования оптических, колебательных, структурных и электрофизических свойств гетеро- и наноструктур на основе нитридов металлов III группы.

Примеры работ в 2013 году:

### 1. Исследование микроструктуры и электронного строения калиброванных кластеров золота в кукурбит[*n*]урилах с использованием XAFS спектроскопии.

При переходе от массивных металлов к частицам с размером 10 нм и менее последние проявляют новые или существенно изменённые свойства: меняются параметры кристаллической решетки, межатомные расстояния, подвижность атомов, электронное строение, магнитные, оптические и электрохимические свойства, морфология поверхности. Особые свойства наноструктур создают уникальные возможности при их использовании для улучшения уже существующих или создания принципиально новых продуктов и нанотехнологий. Сравнительно недавно обнаружено, в частности, что золото, которое всегда считалось одним из самых инертных металлов, при диспергировании до размеров частиц 5 нм и менее проявляет в реакции окисления CO более высокую каталитическую активность, чем металлические палладий и платина, являющиеся традиционными катализаторами этой реакции. Одной из ключевых проблем при синтезе, исследовании свойств и строения систем, содержащих кластеры металлов, является задача получения однородных по размерам и форме наночастиц. Таким образом, представляется весьма перспективным использовать в качестве «хозяев» для монодисперсных ме-

таллических «гостей» кукурбит[*n*]урилы, которые представляют собой семейство органических молекул состава C<sub>6n</sub>H<sub>6n</sub>N<sub>4n</sub>O<sub>2n</sub> (CB[*n*]) с *n* = 6, 7, 8 и с калиброванными размерами полостей *d* = 5 – 9 Å.

Проведен синтез соединений включения наночастиц золота в кукурбит[*n*]урилы (*n* = 6, 7, 8). Соединения включения наночастиц металла в CB[7] получены в реакции химического восстановления в водно/этанольном растворе золотохлористоводородной кислоты HAuCl<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O боргидридом натрия (NaBH<sub>4</sub>). Получены также соединения включения Au@CB[7] в водном растворе (без этанола) и впервые - соединения Au@CB[6] по разработанной методике - в водном растворе (без этанола) с добавлением MgCl<sub>2</sub>. Проведен поэтапный синтез через восстановление комплексов золота, синтезированных внутри полостей CB[8], и агрегацию в них кластеров Au.

Для синтезированных соединений измерены спектры EXAFS- (протяженная тонкая структура рентгеновских спектров поглощения), XANES- (ближняя структура рентгеновских спектров поглощения) и HERFD XAS (рентгеновская абсорбционная спектроскопия высокого разрешения с флуоресцентным детектированием) в районе рентгеновских AuL<sub>III</sub>-краев поглощения. Экспериментальный материал обработан с использованием программных пакетов FEFF 9.0, DL\_EXCURV 98, определены параметры локальной структуры (межатомные расстояния, локальная симметрия, парциальные координационные числа, факторы Дебая-Валлера), а также оценены электронные характеристики (зарядовые состояния атомов и структура свободных электронных состояний) для исследуемой системы, включающей наночастицы золота калиброванного размера.

Детальное сравнение экспериментальных XANES, HERFD спектров высокодисперсных образцов, со спектрами образцов, содержащих более крупные нанесенные частицы Au, и спектрами массивного Au показало, что с точностью наших экспериментов (≤10%) в начальной области спектры неотличимы. При этом сравнение экспериментальных спектров с выполненными в программе FEFF 9.0 модельными расчетами позволяет утверждать, что с нашей точностью и электронное состояние (в частности, зарядовое) высокодисперсного золота неотлично от металлического.

Проведен сравнительный анализ данных, полученных для соединений включения Au@CB[7], Au@CB[6], Au@CB[8], для эталонного образца массивной золотой фольги и высокодисперсных образцов, синтезированных ранее другими методами. Из анализа экспериментального материала для исследованных высокодисперсных образцов установлено, что во всех образцах золото находится в бидисперсном виде: 1) высокодисперсная часть золота внутри полостей кукурбитурила с узким распределением по размерам и 2) более крупные частицы золота. Для кластеров золота внутри полостей кукурбитурилов: 1) CB[7] - координационные числа N<sub>Au-Au</sub> ~ 6, средний

размер кластеров Au  $d \sim 0,8$  нм; 2) СВ[6] -  $N_{\text{Au-Au}} \sim 5$ , средний размер кластеров также несколько меньше -  $d \sim 0,7$  нм. Обнаружено, что кластеры золота в полостях кукурбитурилов СВ[7] и СВ[6] характеризуются заметно меньшими (на  $\sim 0,03$  Å) межатомными расстояниями и заметно большими (в три раза при 12 К) значениями фактора Дебая-Валлера по сравнению с массивным Au. Таким образом, установлено, что структурные напряжения и разупорядочение кристаллической структуры становятся существенными для малых частиц золота, что может определять изменение химической активности золота при его диспергировании.

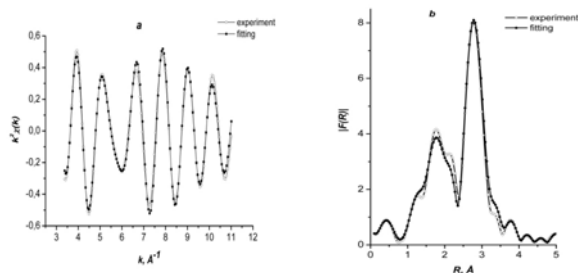


Рис. 6.2.29. Моделирование бидисперсной системы для одного из образцов:  $k^2\chi(k)$  AuL<sub>III</sub> EXAFS спектры, фильтрованные в области  $\Delta R=1,5 - 3,5$  Å (а), модули Фурье-преобразования функции  $k^2\chi(k)$  AuL<sub>III</sub> EXAFS (б): ○ – эксперимент; ● – модельный расчет.

## 2. Исследование пространственного и электронного строения комплексных Fe(II) с пиразолом при температурах выше и ниже структурного и магнитного фазовых переходов.

Координатные соединения Fe(II), имеющие октаэдрическое строение координационного узла FeN<sub>6</sub>, при определенной силе поля лигандов могут существовать в двух спиновых состояниях – низкоспиновом (НС) и высокоспиновом (ВС). Переход из одного спинового состояния в другое происходит с изменением структуры комплекса при изменении температуры, давления или при облучении светом определенной длины волны. Поиск и изучение соединений, обладающих термоиндуцированным спиновым переходом, вызывает постоянный интерес исследователей, в том числе и с точки зрения их практического применения.

С использованием синхротронного излучения (СИ) ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН впервые измерены спектры EXAFS ряда комплексов Fe(II) с пиразолом: 1) Fe(t(DMPz)M)(tz)<sub>3</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; 2) Fe(t(DMPz)M)<sub>2</sub>(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>; 3) Fe(t(DMPz)M)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>•H<sub>2</sub>O; 4) Fe(t(DMPz)M)<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> при температурах выше ( $\sim 300$  К) и ниже ( $\sim 125$  К) температуры предполагаемых структурного и магнитного фазовых переходов. На основании анализа измеренных спектров EXAFS комплексов охарактеризованы изменения их структуры и электронного строения. Для части исследованных образцов установлено соответствие с ранее полученными результатами для мо-

нокристаллических фаз, определен вклад этих фаз в исследуемые системы.

Для образца Fe(t(DMPz)M)(tz)<sub>3</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> установлено присутствие новой низкотемпературной фазы и получены ее микроструктурные характеристики. Таким образом, в образце Fe(t(DMPz)M)(tz)<sub>3</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> при понижении температуры только часть молекул ( $\sim 50$  %) изменяет свои структурные характеристики и, вероятно, переходит в НС состояние. При  $T \sim 125$  К в спектре появляются дополнительные особенности, связанные с появлением расстояния 1,97 Å, характерного для расстояния Fe-N в НС комплексе. В спектре Фурье трансформанты наблюдается двойной первый максимум. При этом расстояние до второй сферы азота на расстоянии  $\sim 3$  Å меняется слабо. Микроструктура первой сферы окружения атомов железа для образцов Fe(t(DMPz)M)<sub>2</sub>(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> и Fe(t(DMPz)M)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>•H<sub>2</sub>O при их охлаждении до 125 °С не изменилась и, по-видимому, комплексы не изменили своего спинового состояния, поскольку спектры краев поглощения Fe, спектры EXAFS и зависимости Фурье - трансформанты от межатомных расстояний при двух температурах идентичны и соответствуют одинаковым структурным моделям. Анализ измеренных для образца комплекса Fe(t(DMPz)M)<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> спектров и сравнение их с модельными расчетами показало, что при охлаждении его микроструктура изменилась, и комплекс перешел в НС состояние.

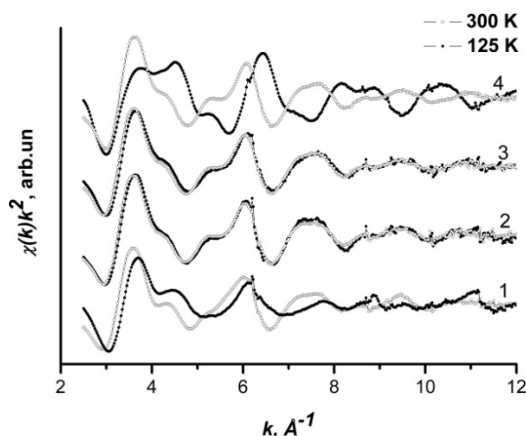


Рис. 6.2.30. Fe K EXAFS спектры поглощения для образцов 1–4 комплексов Fe(II) с пиразолом: при температурах выше (300 К; -○-) и ниже (125 К; -●-) температуры структурного и магнитного фазовых переходов.

## 3. Микроструктура SiGe квантовых колец, квантовых точек GaN/AlGaIn и сверхрешеток с квантовыми ямами по EXAFS и XANES спектрам.

Одним из перспективных путей увеличения скорости и объема передаваемой информации является переход к оптическим методам генерации, передачи и регистрации сигналов. Реализация этого пути требует создания эффективных и быстрых фотонных прибо-

ров, содержащих фотоприемники и модуляторы излучения, работающие на длинах волн в ближнем и среднем ИК спектральных диапазонах. Такие приборы необходимы для создания терабитных оптоволоконных систем связи; наземной связи с летающими и космическими объектами, регистрации динамики излучения атомных, молекулярных и твердотельных систем, для создания химических и биологических сенсоров. Для создания быстродействующих, терагерцовых фотонных приборов перспективными являются гетероструктуры на основе нитрида галлия благодаря очень сильному электрон-фононному взаимодействию в этих ионных материалах, которое обеспечивает фемтосекундные времена восстановления исходного состояния, что на порядок быстрее, чем в других полупроводниках. Большой разрыв зон в зоне проводимости GaN/AlGaN гетероструктур, достигающий в GaN/AlN гетеропаре рекордных для полупроводниковых гетероструктур 2 эВ, позволяет конструировать электрооптические переключатели и фотоприемники на межподзонных электронных переходах в квантовых ямах или квантовых точках для среднего и ближнего ИК спектральных диапазонов, вплоть до 1,3 мкм. Кольцеподобные структуры (квантовые кольца (КК)) - квантовые молекулы, состоящие из вплотную расположенных нескольких квантовых точек (КТ) SiGe на поверхности Si(100) также демонстрируют ряд интересных электронных и оптических свойств, весьма перспективных для их применения в нано- и оптоэлектронике.

Методом МЛЭ синтезированы многослойные сверхрешетки GaN/AlN с числом периодов до 300 и предельно узкими (до 1 нм) квантовыми ямами (КЯ), а также кольцеподобные структуры (квантовые кольца (КК)), состоящие из вплотную расположенных нескольких квантовых точек (КТ) SiGe на поверхности Si(100).

Синтезированные наноструктуры (КЯ, КТ, КК) охарактеризованы методами атомно-силовой сканирующей микроскопии (АСМ), просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ПЭМ), малоуглового рассеяния (МУР) и фотолюминесценции (ФЛ).

На EXAFS станции канала синхротронного излучения (СИ) ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН для синтезированных систем измерены EXAFS и XANES спектры в районе К-краев поглощения Ge и Ga. Определены параметры локальной структуры (межатомные расстояния, парциальные координационные числа), исследовано влияние условий роста и морфологии синтезированных систем на межслоевую диффузию, напряжения и релаксацию в наноструктурах и их оптические свойства.

Обнаружено влияние условий роста и толщины сверхрешеток на перемешивание в приграничных слоях, деформации, напряжения и оптические свойства GaN/AlN. Установлено, что более интенсивные максимумы люминесценции, сдвинутые в коротковолновую сторону, характерны для образцов с более

заметным перемешиванием на границах раздела. Для образцов с «тонкими» (число слоев 20 - 40) сверхрешетками и предельно малыми (~1nm) толщинами слоев GaN и AlN установлено заметное уменьшение межатомных расстояний Ga-Ga (~ 0,03 - 0,04 Å), что свидетельствует о существенных деформациях и напряжениях в слоях. Для многослойных образцов с «толстыми» (число слоев 130 - 260) сверхрешетками обнаружено минимальное уменьшение (~ 0,01 Å) межатомных Ga-Ga расстояний  $R(\text{Ga})$ , что согласуется с обнаруженным для них большим количеством дислокаций и соответствующей релаксацией напряжений в GaN слоях. Для образцов с «тонкими» сверхрешетками и предельно малыми толщинами слоев GaN и AlN установлена зависимость величин межатомных расстояний и координационных чисел от температуры. Для таких систем расстояния Ga-Ga и Ga-Al близки к характерным для твердых растворов, с некоторыми отличиями, связанными с неравновесностью исследуемых систем. С увеличением температуры синтеза от 800 °C до 900 °C расстояния Ga-Ga и Ga-Al несколько уменьшаются с увеличением координационных чисел по Al, как и в равновесных твердых растворах при увеличении концентрации Al. При увеличении температуры от 800 °C до 850 °C, а затем до 900 °C перемешивание Ga-Al в граничном слое составляет 25; 30; 35%, соответственно.

Установлено, что на первом этапе роста SiGe квантовых колец (нанесение затравочного слоя Si/Ge при температуре ~700 °C) концентрация Ge составляет ~25%. При дальнейшем росте (нанесении основного слоя) концентрация Ge возрастает до 35-45% в зависимости от температуры (610-550 °C). Для исследованных образцов установлено, что при валовой формуле  $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$  ( $0,25 < x < 0,45$ ) межатомные расстояния Ge-Ge и Ge-Si соответствуют значениям, определенным для твердых растворов и квантовых точек Ga/Si.

## 6.3. РАБОТА НА ПУЧКАХ СИ ИЗ ВЭПП-4

### 6.3.1. Станция «Космос».

Метрологическая станция мягкого рентгеновского диапазона на накопителе ВЭПП-4.

#### Модернизация оборудования станции.

В рамках развития инфраструктуры станции «Космос» был изготовлен и введен в эксплуатацию новый двухзеркальный монохроматор. Кинематическая схема нового монохроматора позволяет получить большую пространственную стабильность монохроматического пучка, чем у предыдущего. Увеличился диапазон энергий, доступных монохроматору за одно сканирование, без вскрытия вакуумного объема монохроматора на атмосферу. Добавлена дополнительная дистанционно управляемая регулировка параллельности зеркал монохроматора в поперечном направлении. Улучшена совместимость механизмов мо-

нохроматора с высоким вакуумом станции. Разработан и находится в стадии отладки пакет управляющего программного обеспечения для нового монохроматора.

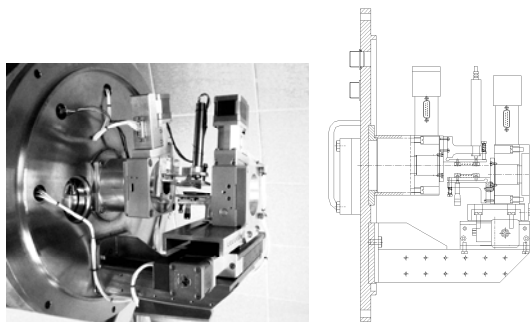


Рис. 6.3.1. Внешний вид монохроматора и его сборочный чертеж.

Для контроля качества монохроматического пучка СИ приобретен и запущен в эксплуатацию новый двухкоординатный детектор на основе «back illuminated» ПЗС-матрицы.

#### Разработка методики исследования радиационной деградации полупроводниковых детекторов.

В 2013 году на станции «Космос» отработано 27 смен в рамках сотрудничества с Физико-техническим институтом имени А.Ф.Иоффе (Санкт-Петербург). Проведено исследование радиационной деградации кремниевых фотодиодов под действием мягкого рентгеновского излучения. Для выделения из «белого» пучка СИ фотонов с энергиями, лежащими в рамках некоторой ограниченной полосы, применялись зеркала полного внешнего отражения и тонкопленочные фильтры. Фильтры ограничивали поток фотонов в мягкой области спектра, а зеркала использовались для удаления из пучка фотонов с высокой энергией. Для увеличения потока фотонов также использовались сферические фокусирующие зеркала. Небольшая область на поверхности испытуемого детектора подвергалась облучению сквозь круглую 2 мм диафрагму квазимонохроматическим пучком СИ до получения определенной дозы. После этого производилось исследование однородности чувствительности детектора по всей поверхности. Исследование проводилось путем сканирования детектором относительно тонкого (порядка 200 мкм) монохроматического пучка СИ. Далее происходило сравнение карт чувствительности детектора до и после облучения. Для дополнительного контроля формы и места попадания квазимонохроматического пучка на детектор использовался метод экспресс-визуализации, предложенный ФИ РАН им. Лебедева (Москва): детектор охлаждался до отрицательных температур, а затем, при нормальных условиях, наблюдалось образование капель конденсата на его поверхности. Из-за явления электросмачиваемости область облучения приобретала визуальный контраст относительно остальной поверхности детектора.

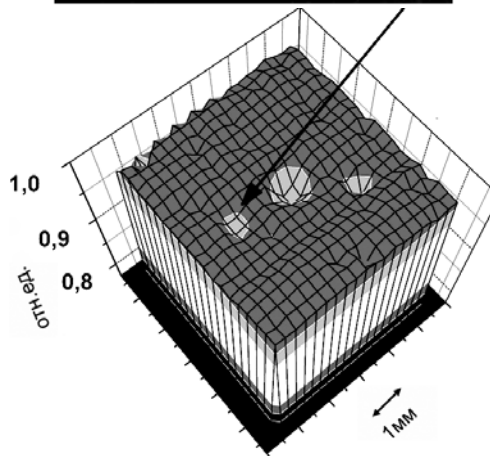
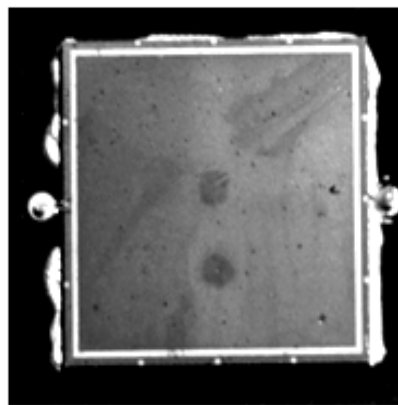


Рис. 6.3.2. Визуализация области облучения детектора; его карта чувствительности (энергия фотонов при построении карты - 100 эВ). Стрелкой показана область, подвергшаяся облучению фотонами 10,2 эВ с поверхностной дозой 9,5 мДж/см<sup>2</sup>.

#### 6.3.2. Станция «Пламя».

##### Разработка станции диагностики процессов горения с использованием СИ ВУФ диапазона на накопителе ВЭПП-4М.

В рамках выполнения соглашения с Министерством образования и науки Российской Федерации №8186 была разработана станция диагностики процессов горения с использованием синхротронного излучения ВУФ диапазона. Станция будет работать с использованием излучения из поворотного магнита накопителя ВЭПП-4М и расположена на 1-м этаже бункера СИ. Станция «Пламя» позволит проводить фундаментальные исследования пламени, включая кинетику и механизм химических превращений в пламени на уровне элементарных стадий, а также механизм и кинетику превращений при термическом разложении конденсированных веществ.

Принцип действия установки основан на масс-спектрометрическом анализе промежуточных продуктов горения, отобранных из различных участков пламени. Ионизация изучаемых продуктов для их анализа происходит с применением синхротронного излучения (СИ) ВУФ диапазона (энергия фотонов 5-

20 эВ). Станция базируется на сверхвысоковакуумном канале СИ, оснащенной дифференциальной откачкой. Оптическая схема станции включает в себя монохроматор с плоской решеткой и фокусирующими зеркалами.

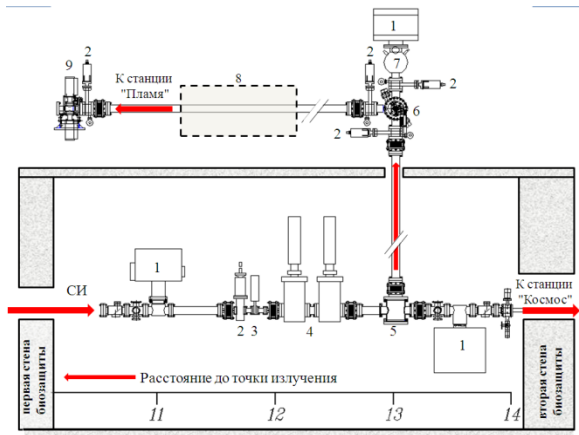


Рис. 6.3.3. Компоновка канала.

1 - магниторазрядные насосы, 2 - вакуумные шибберы, 3 - аварийный быстродействующий (10 мс) шиббер аварийной защиты вакуума; 4 - радиационные затворы; 5 - блок вводимого фокусирующего зеркала, 6 - блок дифракционной решетки 7 - азотная ловушка, 8 - газовый фильтр, 9 - выходная щель. В нижней части рисунка показано расстояние до точки излучения в метрах.

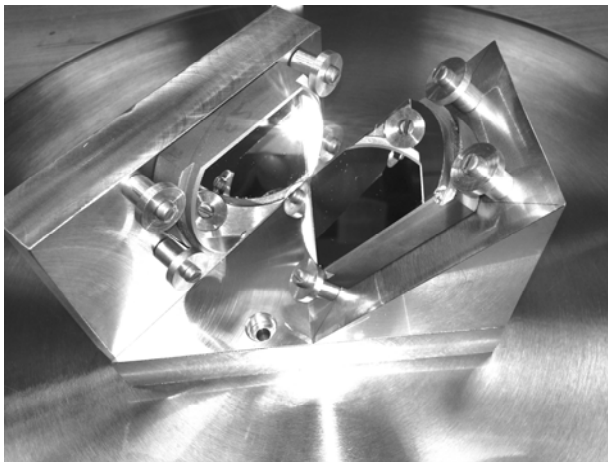


Рис. 6.3.4. Фокусирующая система станции - скрещенные сферические 10 м зеркала.

Ожидается, что первые результаты на пучке СИ будут получены осенью 2014 года. Станция будет единственной в России и одной из трех в мире.



## 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 2013 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).

Схема ускорителя-рекуператора (УР) с тремя ЛСЭ, установленными на первой, второй и четвертой (ЛСЭ третьей очереди) дорожках, показана на Рис. 6.4.1.

Одной из двух основных задач 2013 года была организация регулярных работ на шести рабочих станциях пользователей. Второй задачей была подготовка к запуску третьей очереди Новосибирского ЛСЭ.

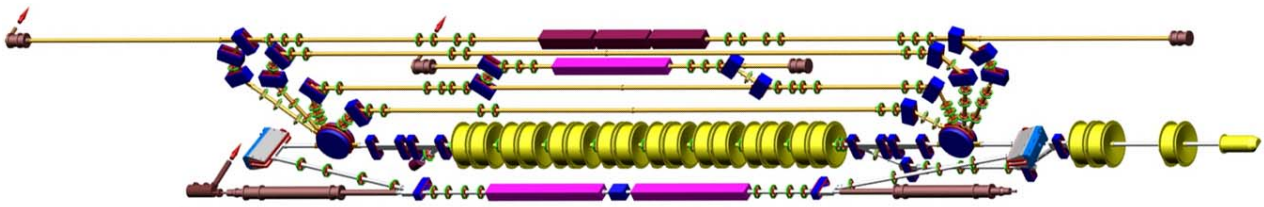


Рис. 6.4.1. Общий вид УР с тремя ЛСЭ, установленными на первой второй и четвертой дорожках.

### 6.4.2. Эксперименты на пучках ТГц излучения

В Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения работы с терагерцовым излучением выполняют 20 групп из 12 научных организаций Новосибирска, Москвы и Южной Кореи.

Ниже перечислены некоторые работы, выполненные в 2013 году, и их исполнители.

1. Проведены детальные исследования распространения поверхностных плазмон-поляритонов по плоским и изогнутым интерфейсам металл-диэлектрик-воздух, а также их «прыжков» через длинные воздушные промежутки, представляющие интерес для создания планарных интегральных схем терагерцового диапазона (Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН и Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН (Москва)).
2. Исследован оптоакустический эффект в кремнии с использованием терагерцового излучения лазера на свободных электронах (Московский государственный университет и Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН).
3. Получены первые результаты в исследованиях магнитооптических явлений в магнитных материалах с использованием терагерцового излучения ЛСЭ (Красноярский институт физики им. Киренского СО РАН и Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН).
4. Создан и испытан набор бинарных кремниевых дифракционных оптических элементов для управления излучением ЛСЭ и других монохроматических источников, позволяющих реализовать различные экспериментальные схемы для широкого класса фундаментальных и прикладных исследований (Самарский государственный аэрокосмический университет, Институт систем обработки изображений РАН и Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН).
5. Создан макетный образец ближнепольного оптического микроскопа терагерцового диапазона (Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН и Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН).
6. Создан и запущен макетный образец терагерцового эллипсометра (Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН и Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН).
7. Продолжалось развитие методики уникальной сверхбыстрой спектроскопии в терагерцевом диапазоне. В частности, эта методика была применена для спектрального анализа излучения Новосибирского ЛСЭ в неустойчивых режимах. Впервые были получены спектры (моды неустойчивости) одиночных импульсов излучения ЛСЭ (100 пс), которые невозможно измерить корректно другими известными спектральными методами. В области газовой спектроскопии высокого разрешения этим методом впервые в реальном времени были зарегистрированы сигналы излучения молекул, свя-

занные с прецессией их магнитного момента в магнитном поле. Эти эксперименты позволяют с высокой чувствительностью и быстродействием регистрировать различные важные химические радикалы (Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера и Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН).

8. Продолжались эксперименты по исследованию горения и детонации водородно-кислородной смеси по образующимся в этих реакциях парам воды и ОН-радикалам. На переходах этих молекул зарегистрировано поглощение терагерцевого излучения около 30% в горячей фазе детонации и более сильное поглощение до 100% в последующей фазе остывания. Пироэлектрической камерой измерено двумерное распределение паров воды при горении водородно-кислородного пламени (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера, Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева и Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН).
9. Начаты экспериментальные работы по обратному рассеянию терагерцевого излучения на водяном тумане. Получены первые сигналы такого рассеяния на длине волны 118 мкм (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева и Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН).
10. Получен новый рекорд выходной мощности терагерцевого Новосибирского ЛСЭ - 220 Вт на частоте повторения 5,6 МГц. Это позволило получить мощный оптический разряд на диагностической станции. Этот эксперимент может служить основой для многих других пользовательских экспериментов (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН).
11. Исследование нетермического воздействия терагерцевого излучения на живые системы разного уровня организации (Институт цитологии и генетики и Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН).
12. Развитие нового метода масс-спектрометрии на основе метода мягкой неразрушающей абляции под действием терагерцевого излучения (Институт цитологии и генетики и Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН).

### 6.4.3. Модернизация ЛСЭ и УР

Спроектирован оптический резонатор ЛСЭ третьей очереди. Основные узлы оптического резонатора изготовлены в экспериментальном производстве ИЯФ. Узел зеркала оптического резонатора показан на Рис.6.4.2.



Рис. 6.4.2. Узел зеркала оптического резонатора третьей очереди ЛСЭ.

Начата сборка оптического резонатора. Вакуумная камера оптического резонатора, подвешенная в ускорительном зале, показана на Рис. 6.4.3.



Рис. 6.4.3. Вакуумная камера оптического резонатора ЛСЭ третьей очереди, подвешенная в ускорительном зале.

Модернизирована измерительная электроника высокочастотного генератора ускоряющей системы УР. Контрольные кабели, выводящие из ускорительного зала сигналы с измерительных петель высокочастотных резонаторов, заменены на кабели с воздушной изоляцией. Это в несколько раз снизило зависимость набега фаз на кабелях от температуры.

Разработан и изготовлен новый высоковольтный выпрямитель (Рис. 6.4.4) для электростатической электронной пушки УР.

Запущен высокочастотный генератор с частотой 90 МГц для питания высокочастотной электронной пушки (Рис. 6.4.5) для УР. После высокочастотной тренировки получено расчётное напряжение на резонаторе пушки и средний ток электронов 25 мА.



Рис. 6.4.4. Новый высоковольтный выпрямитель для электростатической электронной пушки.



Рис. 6.4.5. Высокочастотная электронная пушка с диагностическим каналом.

Проведены измерения магнитного поля во всех трёх ондуляторах для ЛСЭ четвёртой дорожки. После этого были рассчитаны траектории электронов в измеренном поле и амплитуды спонтанного излучения. По результатам расчётов проведена коррекция поля путём замены некоторых блоков магнитного материала на блоки с нужными компонентами намагниченности. После повторных магнитных измерений ондуляторы установлены на четвёртую дорожку УР (Рис. 6.4.6).

Для получения тока пучка, необходимого для запуска ЛСЭ на четвёртой дорожке УР, проведена расчётная и экспериментальная оптимизация процесса рекуперации энергии электронного пучка при его четырёхкратном торможении в ускоряющих высокочастотных резонаторах. Получен циркулирующий ток, достаточный для генерации излучения в ЛСЭ.



Рис. 6.4.6. Ондуляторы третьей очереди ЛСЭ, установленные на четвёртую дорожку УР.

#### 6.4.4. Совещание по ускорителям-рекуператорам

С 9 по 12 сентября 2013 года в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН проходило Международное совещание по УР «Energy Recovery Linacs 2013».

Международные совещания этого цикла проводятся каждые два года при поддержке международного комитета по будущим ускорителям (ICFA). Предыдущие два совещания состоялись в США и Японии.

Тема совещания – новый тип ускорителей заряженных частиц – УР (в англоязычной терминологии – energy recovery linacs, ERL). Часто при работе с сильноточными пучками заряженных частиц (обычно, электронов) большая часть их мощности остаётся в уже использованном пучке. Эту мощность можно вернуть в ускоряющую систему, направив туда использованный пучок. Ускоритель, который не только ускоряет заряженные частицы, но и замедляет использованные, и называется УР. УР был

предложен М. Тигнером (США) в 1965 г. для создания электрон-электронного коллайдера. Сейчас в мире работает всего три УР – в национальной лаборатории им. Т. Джефферсона (США), в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (Россия) и в лаборатории Дарсбери (Англия). Первые две установки используются в мощных лазерах на свободных электронах. Проекты сверхярких источников рентгеновского излучения на основе УР разрабатываются в Германии, России, США и Японии. Кроме того, рассматриваются возможности применения УР в ядерной физике (Германия) и физике элементарных частиц (США и Европейский центр ядерных исследований CERN).

УР могут применяться не только в науке. С помощью мощных лазеров на их основе можно передавать в космос большие мощности для питания спутников связи, производить изотопически чистые материалы, обрабатывать различные поверхности и селективно воздействовать на живые системы. Технологии, разрабатываемые для УР, могут быть использованы в других перспективных областях применения ускорителей заряженных частиц, например, для обезвреживания радиоактивных отходов.

Участники совещания осмотрели Новосибирский УР. Последний сильно отличается от «мэйнстрима» электронной пушкой с управляющей сеткой, длинноволновой несверхпроводящей ускоряющей структурой, разветвлённой магнитной системой с пятью дорожками, байпасом и тремя ЛСЭ, а также тем, что работает в центре коллективного пользования, созданном на основе ЛСЭ.

#### *6.4.5. Результаты 2013 года и планы на 2014 год*

##### **Основные результаты работ в 2013 году:**

1. Смонтирован оптический резонатор и установлены ондуляторы третьей очереди ЛСЭ.
2. Продолжены создание новых станций и улучшение систем ЛСЭ.
3. Продолжены эксперименты с использованием ТГц излучения на пользовательских станциях.

##### **Планы на 2014 год:**

1. Запустить третью очередь ЛСЭ.
2. Продолжить работу по созданию новых станций и улучшению ЛСЭ.
3. Продолжить эксперименты с использованием ТГц излучения на пользовательских станциях.

## 6.5. РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СИ

### 6.5.1. Сверхпроводящие вигглеры.

В 2013 году велась работа по разработке и изготовлению сразу нескольких сверхпроводящих криогенных магнитных систем для генерации СИ. Все они проводились по контрактам с различными ускорительными центрами мира.

В январе 2013 года на накопителе Australian Synchrotron (AS) был установлен и запущен в эксплуатацию 63-полюсный вигглер с магнитным полем 4,2 Тл и периодом 52 мм. В криостате, при отсутствии расхода жидкого гелия и пониженном остаточном давлении газа, температура магнита была понижена до уровня 3,5 К. Это позволило достичь максимального значения магнитного поля в вигглере 4,5 Тл за счет температурного смещения нагрузочных характеристик используемого сверхпроводящего провода. Вигглер используется на канале Imaging and Medical Beamline (IMBL) для Micro-beam Radiation Therapy (MRT). На рис. 6.5.1 представлен вигглер, установленный на накопителе AS.



Рис. 6.5.1. 63-полюсный вигглер с полем 4,2 Тл и периодом 52 мм установлен на накопителе Australian Synchrotron (AS) в Мельбурне для биомедицинских исследований.

В мае 2013 года был собран на территории накопителя LSU-CAMD (Луизиана, США) 15-полюсный вигглер с полем 7,5 Тл и периодом 200 мм. Особенностью данного вигглера является высокое значение запасенной энергии магнитного поля (~ 850 кДж), что потребовало проектирования специальной надежной защиты обмоток вигглера от повреждения при срыве сверхпроводимости. Максимальный достигнутый уровень магнитного поля составил 7,7 Тл. В настоящее время вигглер установлен на накопитель (Рис.

6.5.2) и используется для исследований по белковой кристаллографии.

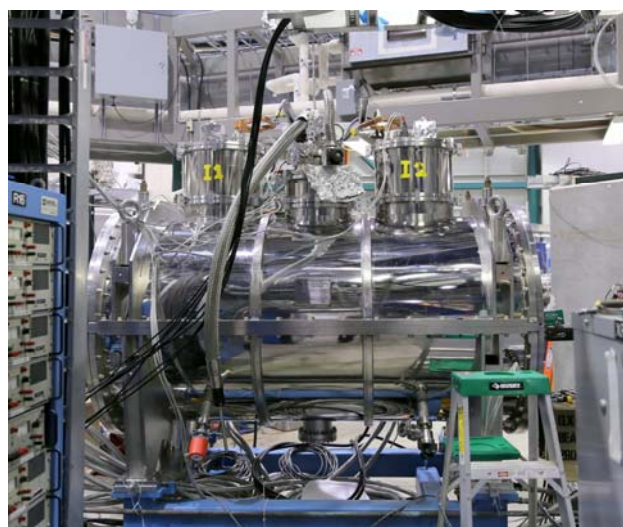


Рис. 6.5.2. 15-полюсный вигглер с полем 7,5 Тл и периодом 200 мм установлен на накопителе LSU-CAMD (Луизиана, США) для исследований по белковой кристаллографии.

Вигглеры, разработанные в ИЯФ за последние годы имеют очень низкий расход жидкого гелия и требуют обслуживания не чаще одного раза в год. Поэтому многие ранее изготовленные в ИЯФ вигглеры, работающие на различных накопителях, могли бы быть модернизированы в соответствии с современными требованиями. В июне 2013 года была произведена модернизация криостата 49-полюсного вигглера с полем 3,5 Тл, работавшего с 2002 года на накопителе ELETTRA (Италия). При этом магнитная система не претерпела изменений. На рис. 6.5.3 представлен процесс испытаний модернизированного вигглера.

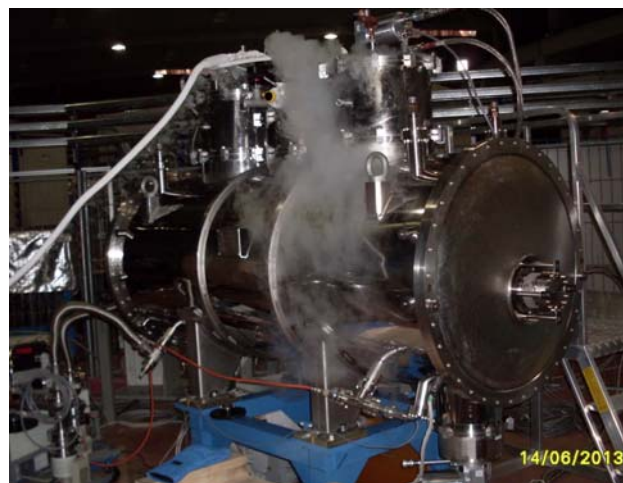


Рис. 6.5.3. Модернизированный 45-полюсный вигглер с полем 3,5 Тл на накопителе ELETTRA (Италия).

В августе 2013 года также была завершена модернизация криостата 17-полюсного вигглера НМІ (НВZ) с полем 7 Тл, работавшего с 2002 года на накопителе BESSY-II. Момент транспортировки модернизированного вигглера обратно на накопитель показан на рис. 6.5.4.



Рис. 6.5.4. Транспортировка модернизированного вигглера с полем 7 Тл НМІ (НВZ) на накопитель BESSY-II.

В декабре 2013 года был осуществлен пробный запуск на стороне заказчика 40-полюсного вигглера САТАСТ (Рис. 6.5.5) с магнитным полем 2,5 Тл и периодом 48 мм для накопителя АНКА (Карлсруэ, Германия). 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 2,9 Тл. В настоящее время ведется подготовка к установке этого вигглера непосредственно на накопительном кольце АНКА. Окончательный запуск запланирован на июль 2014 года.

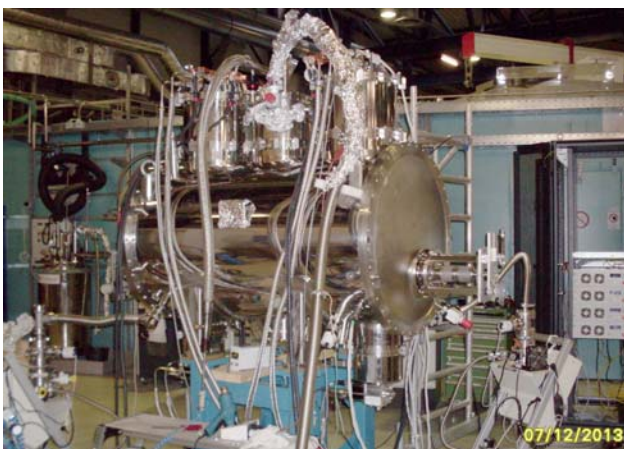


Рис. 6.5.5. Испытания 40-полюсного вигглера САТАСТ с полем 2,5 Тл на накопителе АНКА (Карлсруэ, Германия).

Конструкция вигглера CLIC с полем 3 Тл, периодом 51 мм и магнитным зазором 18 мм, изготавливаемого для накопителя АНКА (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. Сама магнитная система находится в вакууме. Был испытан короткий прототип такого магнита, который был охлажден до температуры 3 К и достигнутый уровень магнитного поля составил 3,3 Тл. В данный момент продолжается тестирование прототипа в различных режимах работы и изготовление 72-полюсного полноразмерного магнита. Запуск полноразмерного магнита на косвенном охлаждении запланирован на май 2014 года.

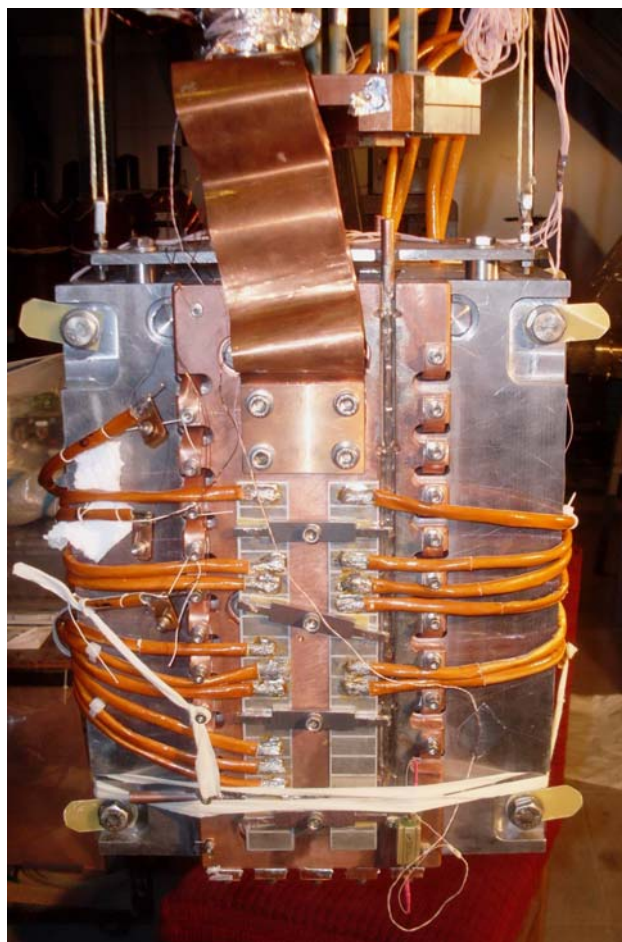


Рис. 6.5.6. Внешний вид прототипа сверхпроводящего безжидкостного 3 Тл вигглера для накопителя АНКА (Карлсруэ, Германия).

## 6.6. РАЗРАБОТКА МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ НОВОГО ИСТОЧНИКА СИ

### 6.6.1. Общая концепция.

Популярность и востребованность исследовательских методов с использованием СИ в Новосибирском научном центре привело к возникновению активного пользовательского сообщества, на основе которого организован Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения (СЦСТИ).

В настоящее время в центре используются пучки СИ, генерируемые в накопителях ВЭПП-3 и ВЭПП-4, которые по своим параметрам не удовлетворяют современным требованиям. Кроме того, необходимость деления операционного времени с другими физическими программами, реализуемыми на комплексе, сильно ограничивает возможности использования методик, использующих СИ.

Поэтому главной проблемой центра является отсутствие специализированного источника СИ.

С 2005 года в центре разрабатывается концепция нового источника СИ. К настоящему времени рассмотрено несколько вариантов. Относительно не дорогим решением является проект источника СИ, расположенного в туннеле коллайдера ВЭПП-4М и максимально использующего существующую инфраструктуру комплекса.

Основные параметры предлагаемого источника представлены в следующей таблице.

Таблица 6.6.1. Основные параметры нового источника СИ для СЦСТИ.

Параметр	Величина
Периметр	360 м
Энергия электронов	3 ГэВ
Проектный горизонтальный эмиттанс	< 1 нм рад
Рабочий ток	до 500 мА
ВЧ	180 МГц

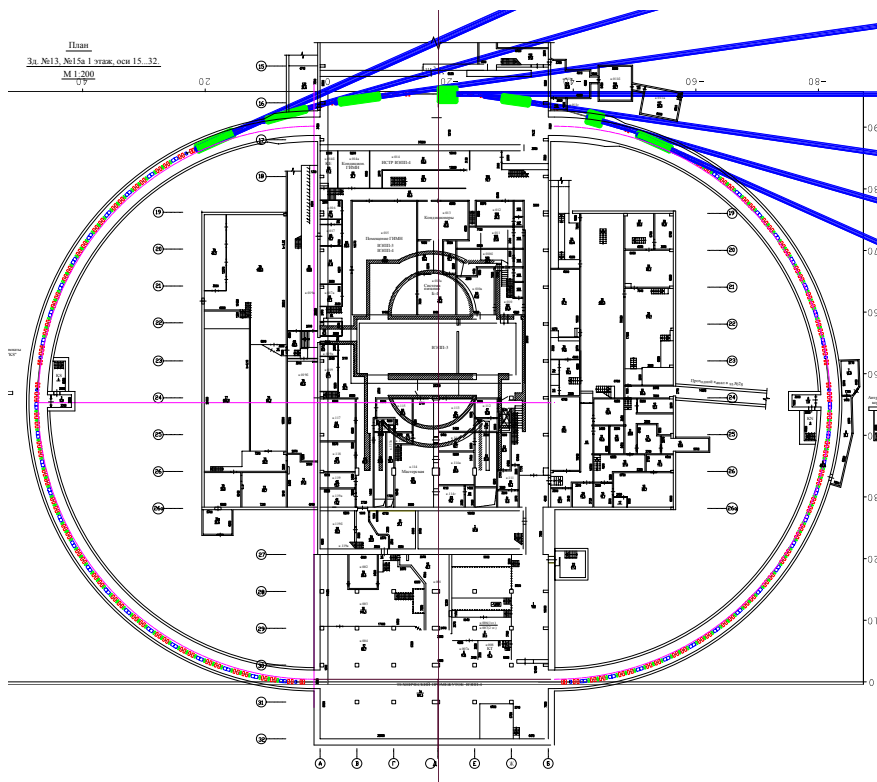


Рис. 6.6.1. Общий вид расположения источника СИ, устройств генерации и каналов вывода излучения.

Размеры предлагаемого источника определяются существующим в настоящее время тоннелем коллайдера ВЭПП-4.

Несомненным преимуществом данного подхода является возможность сильного снижения стоимости проекта, так как можно избежать больших расходов на строительство нового здания. Однако, среди недостатков следует выделить проблемы вывода пучков СИ ввиду подземного расположения тоннеля.

В предлагаемом проекте предлагается сконцентрировать устройства генерации СИ в районе существующего экспериментального промежутка ВЭПП-4. Примерный план структуры предлагаемого источника представлен на рисунке 6.6.1.

В данной конфигурации предполагается реализовать установку шести многополюсных устройств для генерации СИ (свехпроводящие вигглеры и ондуляторы). Каналы вывода излучения показаны на рисунке синими линиями и использование пучков транспортируемых по этим каналам могут использоваться в существующих и новых (специально созданных) помещениях здания 13.

Также предусматривается возможность использования существующего в настоящее время экспериментального зала для работ с пучками СИ в здании 28.

Возможно также установить длинный (до 10 м) ондулятор в конце технического промежутка ВЭПП-4.

### 6.6.2. Магнитная структура.

Для реализации низкоэмиттансного варианта магнитной структуры в данном случае, достаточно хорошо подходит ТМЕ структура (Theoretical Minimal Emittance). Учитывая, что кольцо включает длинные поворотные дуги, заполнение их ТМЕ ячейками позволяет наиболее эффективно использовать преимущества достаточно большого периметра кольца и отсутствия возможности вывода излучения из поворотных дуг. Там, где необходимо устанавливать вигглеры (или ондуляторы), дисперсионная функция может зануляться специальными ячейками, и так как таких мест немного, то вклад таких участков в увеличение эмиттанса будет небольшим.

Ограничивая градиенты квадрупольных и секступольных линз реалистическими значениями, возможна реализация структуры (на основе ТМЕ) с эмиттансом около 150 пм рад, однако в этой и подобных структурах из-за высоких секступольных линз происходит существенное уменьшение динамической апертуры, что исключает возможность успешной реализации.

Предметом оптимизации магнитной структуры в данном случае является поиск оптимального баланса между этими двумя величинами (эмиттанс и динамическая апертура). И для реалистичных значений апертуры необходимо осуществить разумный отход от минимального эмиттанса. Поэтому проектная величина эмиттанса была выбрана на уровне 1 нм рад.

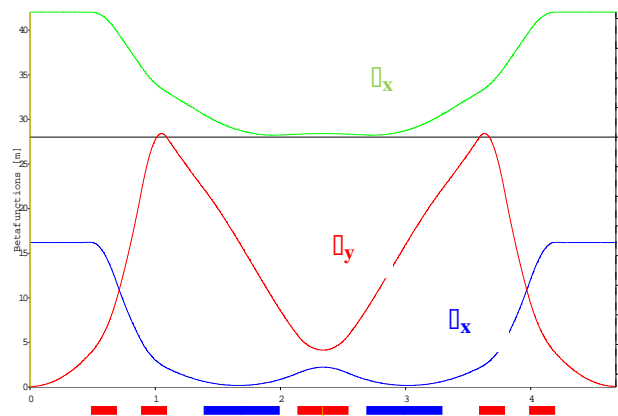


Рис. 6.6.2. Пример возможной ячейки (SplitTME) поворотной дуги источника СИ.

Среди возможных методов реализации ТМЕ-структуры большим преимуществами обладает вариант, условно называемый SplitTME. Основная суть заключается в возможности использования одной квадрупольной линзы между двумя соседними магнитами вместо универсального триплета. Вариант такой структуры показан на рисунке 6.6.2. При этом ТМЕ условия в магнитах выполняются не совсем точно, но при разумных отходах от минимальной величины эмиттанса это не играет определяющей роли.

Безусловным преимуществом такого подхода является компактность получаемой ячейки, что в случае достаточно тесного тоннеля ВЭПП-4 является весьма актуальным.

Еще одним достоинством данной ячейки, является ее гибкость. То есть возможность менять параметры отдельных элементов при сохранении работоспособности всей ячейки. В частности, подбор фазового набег на ячейке позволяет оптимизировать динамическую апертуру: при обеспечении фазового набег  $\pi$  (что реализуемо) транспортная матрица ячейки становится рвной  $(-I)$ . Размещение двух одинаковых секступольных линз через такой промежуток приводит к компенсации геометрических и хроматических аберраций, создаваемых этими секступолями, что, в свою очередь, обеспечивает рост динамической апертуры.

В настоящее время продолжается работа по поиску оптимальных параметров данной ячейки.



7

РАДИОФИЗИКА И  
ЭЛЕКТРОНИКА



## 7.1. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

### 7.1.1 Источники стабильного тока.

Разработка прецизионных источников стабилизированного тока электрофизических установок является одной из главных задач радиофизической Лаборатории. Прецизионные источники постоянного тока служат, главным образом, для питания электромагнитов накопителей заряженных частиц. Выходной ток таких источников, в зависимости от задачи, имеет значение от единиц ампер до десятков килоампер. Соответственно, выходная мощность - от десятков ватт до сотен киловатт и единиц мегаватт. Источники тока, как правило, имеют широкий диапазон регулирования величины тока и высокую точность регулирования и стабилизации (погрешность 0,01% и меньше). Основные результаты работы, выполненной в 2013 году по разработке и изготовлению источников стабильного тока, приведены ниже:

- Продолжена работа по модернизации электроники прецизионных тиристорных источников тока серии «ИСТ». Источник тока типа «ИСТ» («Источник Стабильного Точка») состоит из сетевого понижающего трёхфазного трансформатора, управляемого тиристорного выпрямителя с LC – фильтром, канала активного подавления пульсаций и электроники управления и стабилизации тока. Выходная мощность источников тока серии «ИСТ» достигает 200 кВт. Источника тока типа «ИСТ» новой модификации с выходным током до 400 А мощностью до 200 кВт позволили провести испытания установки электронного охлаждения, разработанной и изготовленной в ИЯФ СО РАН для ускорителя «COSY», Германия. Ведётся постоянная техническая поддержка более 30 источников тока типа «ИСТ» на комплексе ВЭПП-5 и К-500. Разработан и введён в эксплуатацию блок быстрого реверса выходного тока.



Рис. 7.1.1. Источники стабильного тока типа «ИСТ».

- В 2013 году успешно произведён запуск ряда источников питания, специально разработанных для питания электромагнитов бустерного ускорителя источника синхротронного излучения NSLS II (BNL, США). Бустер способен работать с частотой повторения до двух герц, поэтому и требования к источникам питания достаточно уникальные. При высоких требованиях к точности стабилизации тока источники питания обладают высокими динамическими характеристиками. В частности, время нарастания тока от минимального до номинального значения во всех источниках питания не превышает 0,26 сек. Общее количество разработанных и изготовленных источников тока для питания электромагнитов бустера - более 50 штук. В таблице 7.1.1 приведены основные параметры изготовленных в институте источников питания бустера NSLS II.

Таблица 7.1.1

Источник питания	Кол-во	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



Рис. 7.1.2. Источники питания квадрупольей и DC – септума бустерного ускорителя NSLS-II.

- В 2013 году продолжалась разработка и изготовление прецизионных источников тока с выходной мощностью до 30 кВт и током до 1000А, выпол-

ненных с использованием преобразователей повышенной (порядка 20 кГц) частоты. Ведётся изготовление серии таких источников для замены устаревших тиристорных источников тока типа В-1000.

- В рамках контрактных работ разработан прецизионный, со стабильностью тока порядка 20 ppm, источник тока для корректирующих магнитов установки XFEL, Германия.



Рис. 7.1.3. Прецизионный источник тока корректирующих магнитов.

## 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 главных направлений деятельности лаборатории. Так, в частности, в 2013 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  $-110 \text{ кВ}$ , размещённых в одном объёме, заполненном изолирующим газом. Источниками регулируемого переменного напряжения (2 кГц, 3 кВ) этих выпрямителей являются инверторы напряжения частотой 2 кГц с выходной мощностью каждого до 350 кВт.
- Для стенда источника отрицательных ионов, разрабатываемого в рамках контракта с фирмой ТАЕ, США, изготовлен и введён в эксплуатацию источник высоковольтного напряжения  $-120 \text{ кВ}$ , 100 мА. Источник высоковольтного напряжения состоит из каскадного генератора – «умножителя напряжения», работающего на частоте 20 кГц, и регулируемого инвертора напряжения повышенной (20 кГц) частоты.
- В 2013 году сдан в эксплуатацию источник высоковольтного напряжения с выходным напряжением до 60 кВ мощностью 600 кВт диагностического инжектора установки RUDI-х, Германия.



Рис.7.2.1. Источник высоковольтного питания диагностического инжектора RUDI-х.

### 7.2.2 Источники высоковольтного питания электронных ускорительных трубок.

В течение 2013 года продолжалась разработка и изготовление узлов источников высоковольтного питания электронных ускорительных трубок:

- С использованием каскадного генератора – двухтактного умножителя напряжения - изготовлен источник высоковольтного питания электронной трубки для установки «Лазер на Свободных Электронах». Выходное напряжение источника высоковольтного питания «ЛСЭ» - до -300 кВ с выходным током более 50 мА.



Рис.7.2.2 Секция каскадного генератора – умножителя напряжения.

- Разработана новая конструкция и изготовлен высоковольтный выпрямитель с выходным напряжением до -60 кВ с мощностью до 60 кВт, который предполагается использовать в новых установках электронно-лучевой сварки.
- Завершена работа по сдаче в эксплуатацию источника высоковольтного питания установки электронного охлаждения ускорителя «COSY», Германия. Выходное напряжение источника высоковольтного питания – до 2 МВ.
- В рамках выполнения контракта с фирмой ТАС (США) изготовлен и введен в эксплуатацию источник высоковольтного питания с выходным напряжением -110 кВ, выходным током более 100 мА. Основой источника высоковольтного питания является каскадный генератор, работающий на повышенной частоте преобразования напряжения 20 кГц.

### 7.2.3 Импульсные источники питания электромагнитов ускорительных комплексов.

В 2013 году продолжилось изготовление и наладка генераторов импульсного тока для каналов транспортировки пучков К-500, изготовлено 75 штук источников импульсного питания типа «ГИД-25», закончена их наладка.



Рис.7.2.3 Источник импульсного питания «ГИД-25».

### 7.2.4 Электроника для диагностики и управления положением пучков заряженных частиц.

Основными работами по созданию электроники для диагностики и управления положением пучков заряженных частиц в 2013 году являлись:

- Изготовление и наладка новой электроники для пикапов комплексов ВЭПП-2000, ВЭПП-4 и инжекционного комплекса. Всего изготовлено и вводится в работу более 40 блоков.
- Изготовлена и поставлена электроника для пикапов установки электронного охлаждения ускорителя «COSY», Германия.
- В рамках контракта с ОИЯИ (Дубна) поставлена электроника системы измерения фазы ионного пучка для бустера NICA. Эта система является дополнением к ВЧ системе бустера, изготавливаемой в ИЯФ. Система позволяет каждые 10 мкс измерять фазу пучка по отношению к ускоряющему напряжению ВЧ системы с погрешностью не более 1 градуса. Весной 2013 году система была успешно протестирована на работающем в ОИЯИ ускорителе «Нуклотрон».
- В рамках контракта с ПИЯФ (Гатчина) изготовлен и поставлен новый 4-х каналный ЯМР магнитометр. Магнитометр представляет собой модуль 1U стандарта «Евромеханика», соединяемый с компьютером через Ethernet. Новый магнитометр отличается от старого повышенным быстродействием за счет более быстрой обработки сигналов ЯМР. Погрешность измерений однородных полей (с градиентом менее  $10^{-4}/\text{см}$ ) не превышает 1 ppm ( $10^{-6}$ ). Разработано программное обеспечение для нового магнитометра. Еще один такой же ЯМР магнитометр изготовлен и передан для работы на стенд магнитных измерений ИЯФ.

### 7.3. РАЗРАБОТКА НЕСТАНДАРТНОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

В Институте разрабатывается большое количество нестандартной и специальной электроники, в частности, в 2013 году:

- Разработан, изготовлен и успешно испытан полупроводниковый ВЧ - генератор с возможностью амплитудной модуляции выходного напряжения для питания плазменного эмиттера ионного источника. Прототип, обеспечивающий выходную мощность до 20 кВт высокочастотного напряжения 4 МГц, испытан при работе в составе атомарного инжектора. Начато изготовление аналогичного генератора на мощность до 40 кВт.
- В 2013 году выполнен контракт на поставку в компанию Toyota Tsuho Corp. двадцати гидростатических датчиков уровня емкостного типа SASE, позволяющих по уровню воды в связанных сосудах определять взаимное вертикальное смещение сосудов на ускорительном комплексе. Калиброванный диапазон измерений изменения уровня воды в сосуде - 5 мм с погрешностью 1 микрон, частота измерений - до 0,5 Гц. Измеренное смещение сосудов позволяет контролировать вертикальную выставку элементов ускорительного комплекса.



Рис. 7.3.1 Полупроводниковый ВЧ - генератор драйвера атомарного инжектора.

### 7.4. ИССЛЕДОВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С МОДЕЛИРОВАНИЕМ И РЕШЕНИЕМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ УСКОРИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ

В 2013 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 – атомарного инжектора - осуществлена оптимизация конфигурации 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, Германия, выполнены работы по компьютерному моделированию конструкции электронной пушки и коллектора. Полученные результаты показали 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:

В рамках проектирования перспективного атомарного инжектора большой мощности проведены:

- расчет и оптимизация поля расширительной плазменной камеры с мульти-польными 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.

## 7.5. НОВАЯ ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАКОПИТЕЛЯ БЭП

В Институте ведется работа по созданию новой высокочастотной (ВЧ) системы накопителя БЭП, являющегося инжектором ускорительного комплекса ВЭПП-2000. Новая ВЧ система позволит увеличить энергию частиц в БЭП от 0,9 ГэВ 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. Резонатор имеет механизмы подстройки основной и высших мод. Параметры резонатора приведены в таблице 7.5.1.

ВЧ генератор с максимальной мощностью 20 кВт – с выходным каскадом на тетроде ГУ-92А и транзисторными предварительными каскадами. Передача мощности от генератора в резонатор осуществляется медным коаксиальным фидером диаметром 160 мм с волновым сопротивлением 75 Ом. В комплекте деталей фидера имеется набор сменных элементов разной длины для колена в виде «тромбона». Подбор длины фидера с точностью 1/32 длины волны позволит настроить длину фидера, оптимальную и для режима выходного каскада генератора, и для устойчивости пучка к синхротронным колебаниям.

Система управления регулирует амплитуду и фазу ускоряющего напряжения и обеспечивает синхронизацию при заполнении сепаратрис накопителя.

Таблица 7.5.1. Параметры резонатора БЭП.

Параметр	Значение
Номер гармоники	13
Рабочая частота, МГц	174,3755
Перестройка частоты, кГц	±130
Коэффициент пролета $\tau$	0,996
Характеристическое сопротивление $\rho\tau^2$ , Ом	127
Собственная добротность	14900
Ускоряющее напряжение, кВ	112
Мощность в пучок, кВт	6,9
Потери мощности в резонаторе, кВт	3,5
Общая мощность, кВт	10,4

В 2013 году закончено изготовление резонатора и деталей фидерной линии, соединяющей генератор с резонатором. Подготовлен комплект аппаратуры для испытания резонатора в кольце и для работы с пучком в БЭП. Проведены измерения ВЧ параметров рабочей

и высших (до 1500 МГц) мод резонатора (рис. 7.5.1). Проведен прогрев резонатора, получен рабочий вакуум  $1,5 \cdot 10^{-10}$  торр.



Рис. 7.5.1. ВЧ измерения параметров нового резонатора БЭП.

Испытания резонатора будут проведены в кольце накопителя от штатного ВЧ генератора. В настоящее время завершаются монтаж резонатора в кольце, монтаж фидерной линии и генератора (рис. 7.5.2).



Рис. 7.5.2. Выходной каскад ВЧ генератора БЭП.

## 7.6. ПАССИВНЫЙ ОДНОМОДОВЫЙ РЕЗОНАТОР НА ЧАСТОТУ 816 МГц

В 2013 году в Институте были успешно завершены работы по контракту с Национальным Центром Синхротронного излучения Китая, г. Хефей (National Synchrotron Radiation Laboratory) на разработку и изготовление пассивного одномодового высокочастотного (ВЧ) резонатора на частоту 816 МГц (рис. 7.6.1). Резонатор будет использоваться в накопителе для увеличения длины сгустков. Это позволит снизить «эфф-ект Тушека» и увеличить время жизни пучка.

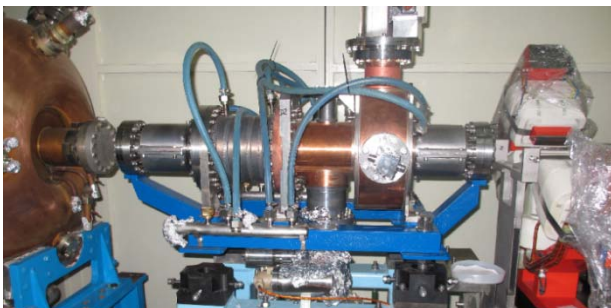


Рис. 7.6.1. Пассивный одномодовый резонатор, установленный в кольцо накопителя National Synchrotron Radiation Laboratory, г. Хефей, Китай.

Резонатор работает на четвертой гармонике ускоряющего ВЧ напряжения. Резонатор возбуждается непосредственно пучком. Необходимый уровень напряжения на резонаторе регулируется отстройкой резонатора относительно гармоники ВЧ. Максимальное напряжение на резонаторе – 80 кВ. Основные параметры резонатора приведены в таблице 7.6.1. Демпфирование высших мод колебаний резонатора достигается при помощи ВЧ нагрузки на основе керамических ВЧ поглотителей, расположенных внутри вакуумной камеры. Для развязки нагрузки и основной моды нагрузка присоединяется к резонатору через отрезок запердельного волновода.

Таблица 7.6.1. Параметры резонатора.

Частота, МГц	816
Максимальное напряжение, кВ	80
Добротность	20000
Характеристическое сопротивление, Ом	135
Шунтовое сопротивление, МОм	2,7
Диапазон перестройки основной частоты, МГц	5,2
Потери в стенках резонатора, Вт	1500
Потери в ВЧ нагрузке, Вт	1000
Импедансы высших мод, Ом	≤ 700

В 2013 году было завершено изготовление резонатора, проведены измерения ВЧ параметров рабочей и высших мод. Проведен прогрев резонатора, получен рабочий вакуум. Резонатор доставлен заказчику, установлен на своё место в ускорительном кольце.

## 7.7. УСТАНОВКА ДИНАМИЧЕСКОГО РАЗВЕДЕНИЯ ПУЧКОВ ДЛЯ ВЭПП-4

В 2013 году в Институте было разработано и успешно испытано устройство динамического разведения пучков на ускорителе ВЭПП-4. Разведение встречных пучков электронов и позитронов осуществляется подачей высокого напряжения на отклоняющие пластины в момент их пролета. Орбиты электронов и позитронов меняются с частотой, вдвое меньшей частоты обращения, то есть 409 кГц.

Блок-схема устройства приведена на рис. 7.7.1.

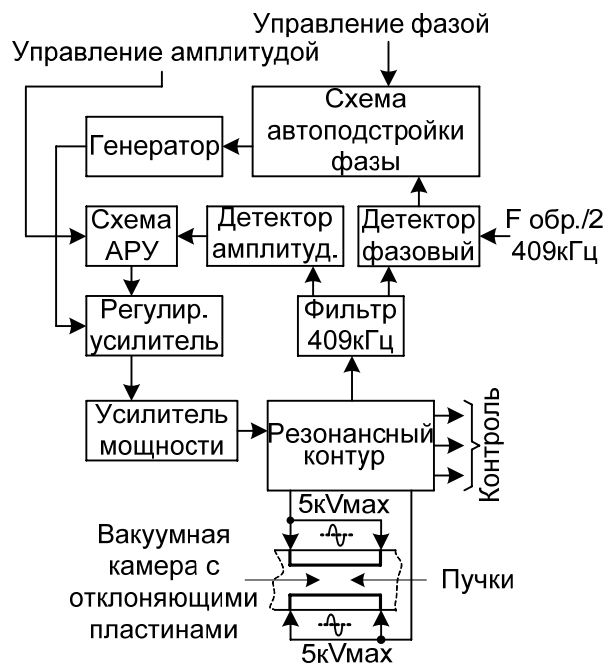


Рис. 7.7.1. Блок-схема устройства разведения пучков.

Отклоняющие пластины расположены вдоль вакуумной камеры и имеют протяженность ~1 м. Каждая из сторон пластины имеет вывод через керамический изолятор и содержит внешние балластные устройства для подавления высокочастотных колебаний, вызываемых пролетающими пучками. Это необходимо для исключения возможности раскачки синхротронных колебаний из-за паразитных резонансов на отклоняющих пластинах.

Резонансный контур выполнен с использованием высокодобротной катушки (рис. 7.7.2). Стабильность настройки на резонансную частоту обеспечивается применением термостабильных конденсаторов и специальной технологией намотки катушки на керамиче-



ском каркасе. Колебательный контур экранирован и имеет принудительное воздушное охлаждение от источника сжатого воздуха. Для контроля напряжения на выводах резонансного контура имеется 4 емкостно-резистивных делителя напряжения. Эти сигналы используются для организации обратной связи по напряжению и фазе, а также для наблюдения за отклоняющим напряжением и контролем момента прохождения пучков через этот участок ускорителя.

Усилитель мощности обеспечивает до 200 Вт на частоте 409 кГц и расположен рядом с резонансным контуром. Здесь же расположен и источник питания. Управление усилителем и источником – дистанционное.

Амплитудно-фазовый модулятор расположен удаленно, в обслуживаемом помещении, и является управляемой частью устройства. Амплитудно-фазовый модулятор представляет собой схему, задающую амплитуду и фазу напряжения на отклоняющих пластинах. Схема содержит две петли авторегулирования, по амплитуде и фазе. Фаза и амплитуда сигнала могут регулироваться в широких пределах. По амплитуде регулировка соответствует изменению напряжения от 0 до 10 кВ на зазоре отклоняющих пластин, по фазе -  $0 \div 360^\circ$  на частоте обращения. Управление этими параметрами возможно как в ручном режиме (например, при отладке), так и от ЭВМ, через ЦАП. Основой блока является автогенератор, управляемый схемой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). ФАПЧ синхронизирует напряжение на резонансном контуре системы разведения с опорным напряжением 409 кГц, которое получается из частоты обращения ускорителя делением ее на 2. Фазометр имеет стабильную и линейную в пределах  $\pm 180^\circ$  фазовую характеристику. Выполнен он по схеме частотно-фазового детектора с использованием быстродействующих К-МОП триггеров. Стабильность схемы обеспечивается питанием ее от прецизионного источника и экранировкой от возможных внешних помех. Сигнал с фазового детектора сравнивается с задаваемым опорным напряжением и управляет автогенератором так, чтобы их разница стремилась к нулю. Изменяя опорное напряжение, можно сдвигать фазу выходного напряжения. Эта регулировка позволяет настроить устройство так, чтобы максимум напряжения на отклоняющих пластинах соответствовал моменту пролета пучков. Регулировка амплитуды на зазоре осуществляется с помощью каскада регулировки усиления, который может работать как в режиме ручного управления, то есть без обратной связи, так и в режиме авторегулировки, когда напряжение на зазоре используется для организации обратной связи. Схема авторегулирования подгоняет это значение под опорное напряжение. Основным режимом работы считается управление фазой и амплитудой от ЭВМ. Для этого используется два канала ЦАП.

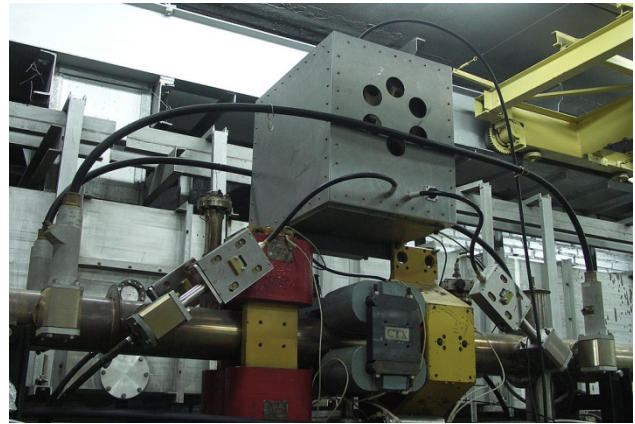


Рис. 7.7.2. Резонансный контур и участок ускорителя ВЭПП-4 с выводами отклоняющих пластин.

## 7.8. РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОЩНЫХ ИНЖЕКТОРОВ ПУЧКОВ НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ ДЛЯ ПЛАЗМЕННЫХ УСТАНОВОК

В 2013 году в Институте продолжались работы по созданию мощного непрерывного инжектора пучков атомов водорода с энергией до 1000 кэВ на основе отрицательных ионов. Для исследований прототипа источника отрицательных ионов водорода создаются экспериментальные стенды: один – для формирования в источнике интенсивного пучка отрицательных ионов водорода с энергией 120 кэВ, второй – для ускорения пучка отрицательных ионов водорода с током 1,5 А до энергий 500÷1000 кэВ.

Эксперименты на первом стенде будут проводиться в два этапа. На первом этапе – с током пучка 1,5 А (первая очередь), на втором этапе, после модификации оборудования, планируется работа с током 9 А (вторая очередь). В качестве источника плазмы используется высокочастотный (ВЧ) разряд. Для питания источников спроектирована ВЧ система. Сигнал частотой 4 МГц формируется задающим генератором на малом уровне мощности. Частота задающего генератора перестраивается в пределах  $\pm 3,5\%$  системой 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 тетроде 4CW50000E производства Eimac (США) по схеме с общим катодом. С выхода каскада ВЧ мощность подаётся на индуктор плазменного эмиттера через разделительный ВЧ трансформатор. Для работы с током пучка 1,5 А используется один канал системы, для тока 9 А будут

использованы четыре независимых канала. Параметры системы приведены в таблице 7.8.1.

Таблица 7.8.1. Основные параметры ВЧ системы экспериментального стенда с током пучка 9 А.

Рабочая частота, МГц	4 ( $\pm 3,5\%$ )
Количество каналов	4
Мощность в нагрузке, кВт	4 × 40
Режим работы	Непрерывный
Постоянное напряжение на «антенне» относительно платформы, кВ	120
Мощность анодного источника питания, кВт	400

Для второго стенда используется один канал описанной выше ВЧ системы. Всё оборудование ВЧ системы второго стенда размещается на платформе, находящейся под потенциалом 880 кВ.

В 2013 году ВЧ система первой очереди введена в эксплуатацию, и на ней начаты эксперименты с пуч-

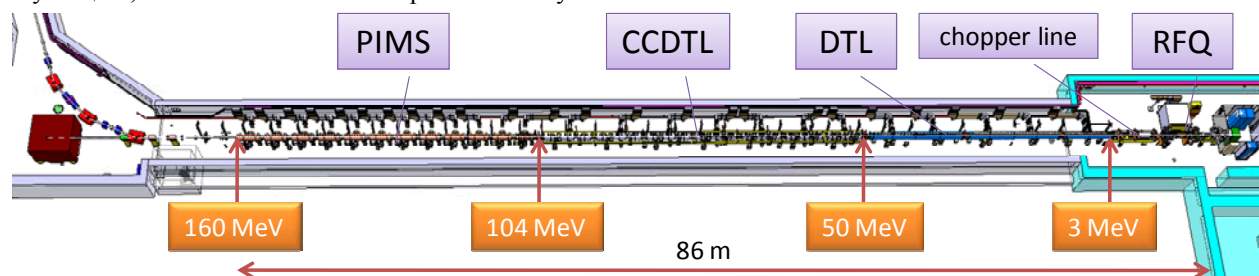


Рис. 7.9.1. Схема Linac4.

ИЯФ СО РАН совместно с РФЯЦ-ВНИИТФ (Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский институт технической физики, г. Снежинск) разработали и изготовили 7 ускоряющих модулей CCDTL (Coupled Cavity Drift Tube Linac, линейный ускоритель с трубками дрейфа и ячейками связи, (рис. 7.10.2) для ускорения частиц в диапазоне энергий от 50 до 104 МэВ. Общая длина секции CCDTL Linac4 составляет ~25 м. Рабочая частота – 352,2 МГц.

Ускоряющий модуль CCDTL представляет собой  $\pi/2$ -структуру, состоящую из 3-х ускоряющих резонаторов (с 2-мя пролетными трубками в каждом) и 2-х боковых ячеек связи между ними. Резонаторы изготавливаются из нержавеющей стали. На внутреннюю поверхность резонаторов электрохимически наносится слой меди толщиной 30÷50 мкм. Пролетные трубки изготавливаются из меди. Каждый модуль устанавливается на свою опорную раму.

В 2013 году завершено изготовление пролетных трубок, ускоряющих резонаторов, ячеек связи и подставок (опорных рам) всех 7-ми ускоряющих модулей CCDTL.

ком. Изготовлены корпуса ламповых каскадов, сосуды и внутренние элементы разделительных трансформаторов для второй очереди системы. Выполнен механический монтаж анодного выпрямителя для второго стенда.

## 7.9. УСКОРЯЮЩИЕ СТРУКТУРЫ CCDTL ДЛЯ LINAC4, CERN

В Европейской организации ядерных исследований (CERN) осуществляется программа модернизации инжекционного комплекса большого адронного коллайдера (LHC). Целью программы является обеспечение надежной работы LHC со светимостью до  $5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Программа предусматривает, в частности, строительство Linac4 – нового линейного ускорителя ионов H на энергию 160 МэВ (рис. 7.9.1) вместо устаревшего Linac2 (на энергию 50 МэВ).

Linac4 состоит из ускоряющих структур различных типов, оптимизированных для соответствующего диапазона энергий ускоряемых частиц.

В ИЯФ СО РАН проведены «холодные» (на малой мощности) измерения высокочастотных параметров 7-ми модулей CCDTL на рабочей моде. Измерены частота и добротность основной моды, составляет  $4,1 \div 4,5 \cdot 10^4$ , неравномерность поля (разница максимальных значений напряженности поля в центральных зазорах танков одного модуля, < 3%), диапазон перестройки резонансной частоты подвижным тюнером, диапазон регулировки коэффициента связи модуля с волноводом. Измеренные параметры соответствуют техническому заданию.

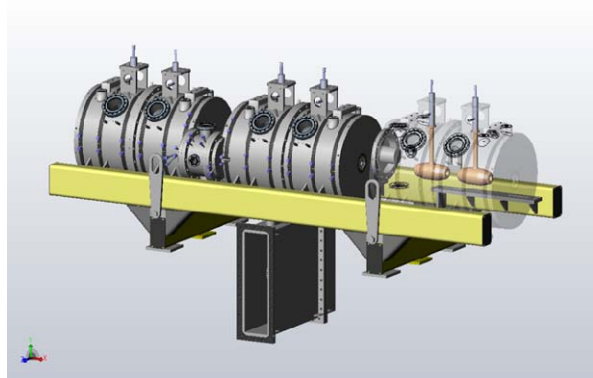


Рис. 7.9.2. Ускоряющий модуль CCDTL.

Проведены вакуумные испытания модулей (рис. 7.9.3). Проведена настройка резонаторов модулей. Настройка выполнена с учетом сдвигов частот резонаторов при откачке.



Рис. 7.9.3. Ускоряющий модуль CCDTL в процессе вакуумных испытаний в ИЯФ СО РАН.

Все 7 модулей CCDTL доставлены в CERN, где проведены их сборка, вакуумные испытания и геодезические измерения. Результаты измерений и испытаний соответствуют проектным параметрам.

Все модули подготовлены к «горячим» испытаниям на стенде от мощного высокочастотного генератора (рис. 7.9.4). Проведены испытания модуля №2 – получен уровень пиковой мощности (870 кВт) в резонаторах модуля в режиме 1 мс (длительность ВЧ-импульса), 2 Гц (частота повторения ВЧ-импульсов) при вакууме  $3 \cdot 10^{-8}$  мБар, что соответствует номинальным параметрам Linac4 в режиме инъекции в PSB.

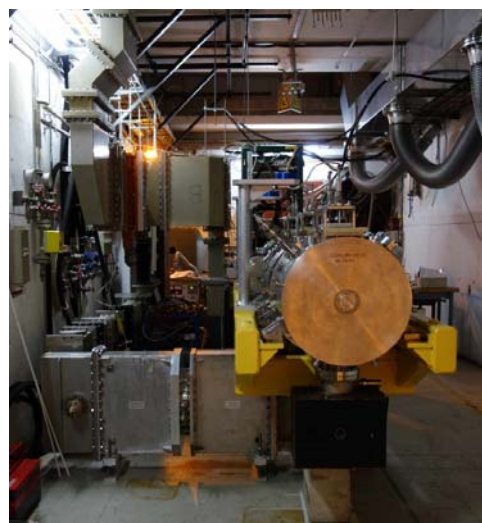


Рис. 7.9.4. Слева – подготовка модулей CCDTL №5 и №6 к испытаниям в CERN. Справа – модуль №2 в защищенном бункере в процессе «горячих» испытаний.

## 7.10. УСКОРЯЮЩИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ СТАНЦИИ ИОННОГО БУСТЕРА КОЛЛАЙДЕРА NICA-MPD

В 2013 году продолжались работы по выполнению договора с Объединенным институтом ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна. В рамках договора Институт должен поставить в ОИЯИ две ускоряющие высокочастотные (ВЧ) станции для бустера коллайдера NICA-MPD. В 2013 году было закончено изготовление обоих ускоряющих резонаторов. Резонаторы были прогреты при температуре  $350^{\circ}\text{C}$  и в них получен проектный вакуум  $4 \cdot 10^{-11}$  торр (рис.7.10.1). Резонаторы готовы для соединения с ВЧ генераторами. Резонатор образуется двумя короткозамкнутыми на кон-

цах отрезками коаксиальной линии, соединенными в центре изолятором. Для уменьшения геометрических размеров и увеличения шунтового сопротивления в рабочей полосе частот  $0,55 \div 5,5$  МГц пространство между проводниками коаксиала заполнено кольцами из аморфного железа.



Рис. 7.10.1. Резонатор с присоединенным магнито-разрядным насосом.

Материал колец имеет модуль магнитной проницаемости не менее 2000 на частоте 1 МГц. Размеры колец:  $\varnothing 500 \times \varnothing 250 \times 15$  мм. Для резонаторов было изготовлено 90 таких колец на Ашинском металлургическом заводе.

Ускоряющий резонатор устанавливается на 4-х опорах. Под резонатором в отдельном отсеке собирается ВЧ усилитель мощности с источниками питания и полупроводниковым широкополосным предусилителем.

ВЧ усилитель мощности находится на стадии окончания сборки (рис.7.10.2). В начале 2014 года планируется соединение ускоряющих резонаторов с усилителями мощности и проведение испытаний ВЧ станций.



Рис. 7.10.1. ВЧ усилитель мощности в процессе монтажа.

Выходной каскад усилителя собран по схеме с общим катодом на двух тетрадах ГУ-36Б-1. Лампы возбуждаются парафазными ВЧ напряжениями. Аноды ламп подключены непосредственно к свободным концам коаксиалов резонатора около изолятора. Амплитуда ВЧ напряжения на аноде каждой лампы равна 2,5 кВ, поэтому ускоряющее напряжение каждой станции равно 5 кВ в рабочем диапазоне частот. Постоянное напряжение на аноде, поступающее от анодного выпрямителя, равно 4 кВ. Полупроводниковый

предусилитель для возбуждения ламп размещен в отсеке усилителя мощности. Максимальная выходная мощность предусилителя - 500 Вт.

Система управления располагается в отдельной стойке и выполнена в стандарте Евромеханика. Имеется задающий генератор частоты обращения частиц, связанный с Центром управления Бустера. В генераторе используется технология DDS. Выходная частота микросхемы DDS изменяется в соответствии с синхронизирующими сигналами по заданной программе и также зависит от сигналов обратной связи, поступающих от датчиков магнитного поля в Бустере и от измерителей положения равновесной орбиты ускоряемого пучка.

Электроника обеспечивает правильное фазирование ускоряющих напряжений станций, регулирование амплитуды ускоряющего напряжения по заданной программе. Многоканальные ЦАП и АЦП задают и контролируют режимы работы станций. Блок управления связан с Центром управления ускорителя по сети Ethernet.

## 7.11. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЫСОКО-ЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ 325 МГЦ ЭЛЕКТРОННОГО УСКОРИТЕЛЯ В НАУЧНОМ ЦЕНТРЕ КАЕРИ, Ю. КОРЕЯ

В июне-июле 2013 года группа специалистов Института выезжала в Ю.Корею для выполнения заключительного этапа контракта с научным центром КАЕРИ (Korean Atomic Energy Research Institute) по восстановлению высокочастотных систем электронного ускорителя, пострадавшего в результате пожара в апреле 2009 года. Ускоритель имеет две высокочастотные системы – на частоты 176 и 352 МГц. В 2012 году была выполнена первая часть контракта – восстановление ВЧ системы на 176 МГц. В ходе командировки в КАЕРИ в 2013 году были выполнены работы по восстановлению элементов и проверке работоспособности ВЧ системы на частоте 352 МГц:

1. Проведена сборка и запуск изготовленных в Институте источников питания ВЧ генераторов. Источник анодного питания имеет постоянное выходное напряжение 9,2 кВ при токе до 45 А в непрерывном режиме (рис. 7.11.1). Пульсации напряжения не превышают 0,5%. Источник имеет возможность быстрого ( $< 30$  мкс) выключения выходного напряжения при пробое в тетрадах генератора.

2. Произведена ревизия и выполнены необходимые замены деталей двух существующих ВЧ генераторов мощностью 50 кВт каждый. Генераторы ранее были разработаны и поставлены Институтом.

3. Установлена и проверена малосигнальная система управления ВЧ, осуществляющей регулировку амплитуды ускоряющих сверхпроводящих резонаторов, фазирование ВЧ напряжений резонаторов между собой и с ВЧ напряжением инжектора, функционирующего в настоящее время. Система управления также

осуществляет автоподстройку ускоряющих сверхпроводящих резонаторов.



Рис. 7.11.1. Источник анодного питания 9,2 кВ, 45 А.

Из-за неготовности в КАЕРИ криогенной системы заохладить резонаторы не удалось. ВЧ система была проверена на максимально допустимых в данных условиях режимах. Испытания закончились успешно.

### 7.12. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ИНЖЕКТОР МИКРОТРОНА-РЕКУПЕРАТОРА

В 2013 году в Институте были продолжены испытания нового высокочастотного (ВЧ) инжектора для микротрона-рекуператора новосибирского лазера на свободных электронах. Испытания проводились на стенде, оборудованном аппаратурой для диагностики пучка, поглотителем пучка мощностью 30 кВт и радиационной защитой.

ВЧ инжектор состоит из ускоряющего резонатора на частоту 90 МГц со встроенным сеточным термокатодным узлом и вставным управляющим блоком для сеточного термокатодного узла.

Управляющий блок суммирует четыре вида напряжений на управляющей сетке термокатодного узла: два переменных напряжения с частотами 90 и 360 МГц и амплитудой 20 В, постоянное запирающее смещение до 120 В, регулирующее заряд сгустков, и импульсное напряжение 60 В с длительностью импульсов 4 нс с регулируемой частотой повторения до нескольких МГц.

С данным управляющим блоком были получены электронные сгустки с энергией до 300 кэВ и регулируемой длительностью в интервале 0,5÷1,5 нс, зарядом до 1,5 нКл и частотой повторения до 2 МГц. На частоте повторения 90 МГц был получен максимальный средний ток пучка 55 мА с энергией 250 кэВ.

Работы на стенде планируется продолжить в 2014 году. В частности, предполагается исследование и совершенствование существующего управляющего блока. Также планируется применение нового блока с це-

лью получения среднего тока пучка 100 мА и выше. Новый блок работает на основе переключения напряжений высокочастотными транзисторами. Блок вырабатывает импульсы длительностью 1 нс, амплитудой до 120 В и регулируемой частотой повторения до 100 МГц.

Кроме того, будет продолжено исследование и измерение характеристик пучка, таких как длительность сгустков, эмиттанс, энергетический разброс и других.

### 7.13. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ИНЖЕКТОР ДЛЯ УСКОРИТЕЛЯ РФЯЦ-ВНИИЭФ

В 2013 году в Институте была продолжена работа по изготовлению высокочастотного (ВЧ) инжектора для ускорителя РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Проектный средний ток ВЧ инжектора – 40 мА и выше, энергия электронов – 50÷100 кэВ. Длительность сгустков – 1 нс, частота повторения сгустков регулируется от 0 до 100 МГц.

ВЧ инжектор состоит из ускоряющего резонатора (рис. 7.13.1) на частоту 100 МГц со встроенным сеточным термокатодным узлом и вставным управляющим блоком для сеточного термокатодного узла. Резонатор – коаксиальный, укороченный емкостью. Резонатор возбуждается от лампового ВЧ генератора мощностью 15 кВт (на тетраде ГУ-92А) через петлевой ввод мощности (на рисунке 7.13.1 сверху). Управляющий блок работает на основе переключения напряжений высокочастотными транзисторами.



Рис. 7.13.1. ВЧ резонатор инжектора для РФЯЦ-ВНИИЭФ.

В 2013 году собран и подготовлен к работе ВЧ генератор, в экспериментальном производстве Института завершено изготовление узлов ВЧ резонатора. При изготовлении резонатора применялись современные технологии, такие как электронно-лучевая сварка, алмазное точение на станках с числовым программным управлением, термодиффузионная пайка в вакуумной печи биметаллического (медь–нержавеющая сталь) корпуса, гальванически покрытого внутри серебром.

Резонатор собран, проверен на отсутствие вакуумных течей и перевезен на стенд для его дальнейших испытаний, включающих ВЧ тренировку и работу с пучком. Работа с пучком запланирована на начало 2014 года.

#### 7.14. МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ МИКРОТРОНА-РЕКУПЕРАТОРА

Высокочастотная система микротрона-рекуператора новосибирского лазера на свободных электронах включает в себя два ВЧ генератора на частоту 180 МГц с максимальной выходной мощностью до 600 кВт каждый. Генераторы работают в непрерывном режиме. В выходном каскаде каждого генератора складываются мощности 4-х ламп ГУ-101А.

Многолетний опыт эксплуатации ламп ГУ-101А показал, что при генерируемой мощности менее

120 кВт на лампу срок службы лампы составляет более 4000 часов. В то же время, с увеличением выходной мощности генератора до 120÷150 кВт на лампу срок службы уменьшается до 1000 часов, а в отдельных случаях и до меньшей величины. Основными причинами выхода ламп из строя после указанного времени работы являются короткие замыкания внутри лампы между сетками или управляющей сеткой и катодом, увеличение частоты пробоев между анодом и экранной сеткой. Поэтому было принято решение модернизировать ВЧ генераторы, заменив в них лампы ГУ-101А на ТН781 фирмы THALES. Гарантийный срок работы у этих ламп 3500 часов, а при пониженном напряжении накала и выходной мощности до 150 кВт ожидается срок службы более 7000 часов.

Адаптация каскадов генераторов к лампам ТН781 и замена ламп начались в 2012 году. Переделка каскадов касалась только внутрикаскадных элементов. В 2013 году работы по модернизации ВЧ генераторов микротрона ЛСЭ были завершены. Заменены все 8 ламп ГУ-101А на ТН781 в выходных каскадах обоих генераторов, питающих ускоряющие резонаторы микротрона. С целью повышения выходной мощности генераторов проведена работа по оптимизации источников питания для генераторов на лампах ТН781: уменьшено напряжение накала (до 8,5 В), увеличено анодное напряжение (до 10 кВ) и напряжение смещения ламп (до -250 В). Приняты меры к подавлению самовозбуждений каскадов на нерабочей частоте. В настоящее время каждый генератор устойчиво работает при выходной непрерывной мощности 550 кВт.

#### 7.15. ГЕНЕРАТОР НА ЧАСТОТУ 100 МГц С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 540 КВТ В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ

По договору с РФЯЦ-ВНИИЭФ в Институте разработан проект высокочастотного генератора с выходной мощностью 540 кВт в непрерывном режиме на частоту 100 МГц. Требуемая мощность получается сложением мощностей трех генераторных модулей на отечественных лампах ГУ-101А. Аналогичная схема сложения мощностей в течение многих лет успешно используется в модульных генераторах на частоту 180 МГц, разработанных Институтом для различных установок. Сложение мощностей трех ламповых модулей осуществляется путем непосредственного присоединения их к выходной линии связи с нагрузкой в сечениях этой линии, отстоящих друг от друга на расстоянии, кратные половине длины волны. Каждый генераторный модуль обеспечивает выходную мощность не менее 180 кВт.

Каждый генераторный модуль имеет независимое возбуждение. Модуль включает в себя предварительный полупроводниковый усилитель с мощностью на входе до 3 Вт и выходной мощностью не менее 500 Вт. Мощность с предусилителя поступает на вход промежуточного каскада усиления, выполненного на

тетроде ГУ-92А. Выходная мощность этого каскада, 12 кВт, поступает на вход выходного каскада генера-

тора, в котором применен тетрод ГУ-101А (рис. 7.15.1).



Рис. 7.15.1. Слева – транзисторный предусилитель и предвыходной каскад на ГУ-92А, справа – выходной каскад на ГУ-101А.

Оптимальный баланс фаз и амплитуд возбуждающих напряжений достигается с помощью системы управления амплитудой и фазой сигналов на входах генераторов. В диапазоне частот  $100 \pm 1$  МГц система не требует каких-либо перестроек, кроме настройки в резонанс общего для трех ламп анодного контура (линия связи).

Связь с нагрузкой регулируется путем изменения волнового сопротивления четверть волнового участка на выходе линии сложения. Система регулировки связи позволяет получить мощность 540 кВт при КСВН не более 1,3 в рабочем диапазоне частот. Выход линии сложения рассчитан на подключение жесткого медного коаксиального фидера с волновым сопротивлением 50 Ом с диаметрами внутреннего и внешнего проводников соответственно 70 мм и 160 мм.

Каждый из трех ламповых модулей имеет свою систему высоковольтного и низковольтного питания. Источник высоковольтного питания подает рабочее напряжение на аноды и экранные сетки тетродов и обеспечивает его плавный подъем при включении, быстрое отключение при пробоях в лампах и контурах ВЧ генератора. Анодный источник питания представляет собой регулируемый высоковольтный источник напряжения, управляемый по входу регулятором на тиристорах и работающий на промышленной частоте. Напряжение анодного питания ГУ-101А составляет –13 кВ, ГУ-92А –6 кВ. На выходе источника лампы ГУ-101А - 13 кВ установлена схема быстрой защиты при пробоях и перегрузках. Время срабатывания быстрой защиты  $\leq 50$  мкс.

Первый генераторный модуль был изготовлен, испытан в Институте и в 2010 году поставлен в РФЯЦ-ВНИИЭФ и сдан в эксплуатацию. В 2013 году Институт приступил к изготовлению второго генераторного модуля. Были изготовлены элементы каскадов генератора, начат монтаж шкафов силовой электроники.

Подготовлен комплект управляющей электроники. Комплект включает в себя регулируемый усилитель и модулятор, которые используются в цепи обратной связи, регулирующей амплитуду ВЧ напряжения на катоде выходной лампы ГУ-101А. Необходимая фаза этого напряжения стабилизируется другой цепью обратной связи – фазометр измеряет разность фаз между опорным ВЧ сигналом и ВЧ напряжением с катода ГУ-101А. Выход фазометра управляет фазовращателем в регулируемом усилителе. Начаты работы по созданию испытательного стенда генератора и системы сложения мощности на линии связи. В 2014 году планируется провести испытания в Институте второго генераторного модуля и заключение договора на изготовление третьего генераторного модуля и линии сложения мощности.

## 7.16. МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ КОМПЛЕКСА «СИБИРЬ-2»

В 2013 году Институтом были изготовлены и поставлены в Курчатовский Институт, г. Москва, элементы для модернизации выходных каскадов высокочастотных генераторов комплекса «Сибирь-2». Модернизация осуществляется с целью замены отечественных ламп ГУ-101А на тетроды ТН781 фирмы THALES. Замена ламп производится для увеличения срока службы ламп и повышения надежности работы генераторов. Три ускоряющих резонатора комплекса «Сибирь-2» возбуждаются двумя генераторами. Генераторы работают в непрерывном режиме. В выходном каскаде каждого генератора складываются мощности двух ламп ГУ-101А. Таким образом, число ламп, подлежащих замене, равно четырем. В 2014 году планируется произвести переделку выходных каскадов, ус-

тановить лампы ТН781 и вывести генераторы на рабочий режим с пучком в накопителе «Сибирь-2».

## 7.17. РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 7.17.1. Электроника для контроля и управления кулера COSY.

Для установки электронного охлаждения ускорителя COSY (Германия) был выполненны разработки, включающие:

- крейт управления высоковольтным терминалом (HVT);
- систему «Компас»;
- комплект управляющих и интерфейсных модулей.

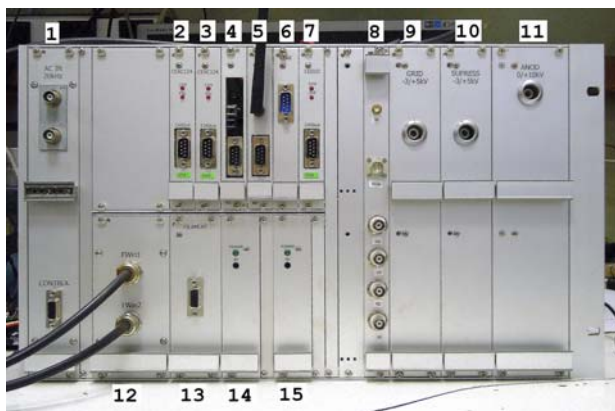


Рис. 7.17.1. Крейт управления высоковольтным терминалом кулера COSY.

**Крейт HVT** показан на рисунке 7.17.1. Он содержит 15 модулей, часть из которых (модули 9,10,11,12) обеспечивают стабильным питанием высоковольтные электроды пушки и коллектора с точностью 0,1%, и 8-амперный источник накала (модули 13,14,15). Кроме того, в крейте размещен модуль диагностики пучка (8) и модуль оптической связи с источником питания коллектора (4). Измерение тока коллектора и тока утечки осуществляется через модуль 6, а управление всем крейтом по CAN линии связи осуществляется модулями SEAC124 (2,3) и CEDIOB (7).

Ввиду экстремально большого потенциала, под которым находится HVT (до 2 МВ), CAN-управление передается по радиоканалу (модуль 5), а питание самого крейта (модуль 1) – через каскадный 25кГц трансформатор ускоряющей колонны. Четырёхкратный допустимый диапазон входных напряжений, которые могут быть поданы на первичный источник (1),

гарантирует надежную работу при любых нагрузках по питанию колонны.

Для организации связи с «землёй» применены стандартные Wi-Fi точки доступа с рабочей частотой 5 ГГц. Для этого был разработан и установлен в HVT дополнительный модуль, в котором размещены шлюз Ethernet-CAN и источники питания для шлюза и для Wi-Fi точки доступа, расположенной внутри HVT. Вторая точка доступа, подключенная к управляющему компьютеру, расположена под каскадным трансформатором ускоряющей колонны.

Для эффективного охлаждения протонов пучком электронов необходима высокая однородность магнитного поля на оси соленоида: его поперечная составляющая не должна превышать  $10^{-5}$  от продольной. Это достигается механической юстировкой секций соленоида после измерения фактической неоднородности системой "Компас".

**Система "Компас"** (рис. 7.17.2) содержит оптико-механическую и электронную части. Чувствительным элементом системы, размещенным на оси соленоида 1 в вакуумном объеме 2, является плоское подвижное зеркало 3, установленное в карданном подвесе. Плоскость зеркала ориентируется поперёк силовых линий с помощью ферромагнитного сердечника. Чувствительный элемент может перемещаться механическим приводом вдоль оси соленоида по направляющим.

На зеркало падает параллельный световой пучок 4, формируемый полупроводниковым лазером 5. Отраженный зеркалом луч 6 проходит в обратном направлении и попадает на четырехквadrанный фотодиод 7.

Система юстируется так, что при ориентации зеркала строго поперек соленоида световое пятно формируется в центре фотодиода, обуславливая равные сигналы с его секторов. Отклонение зеркала, возникающее при появлении в магнитном поле поперечной компоненты, приводит к смещению пятна на фотодиоде и изменению выходных токов секторов. Благодаря значительной базе системы, отклонение на угол  $10^{-5}$  вызывает смещение порядка 0,1 мм.

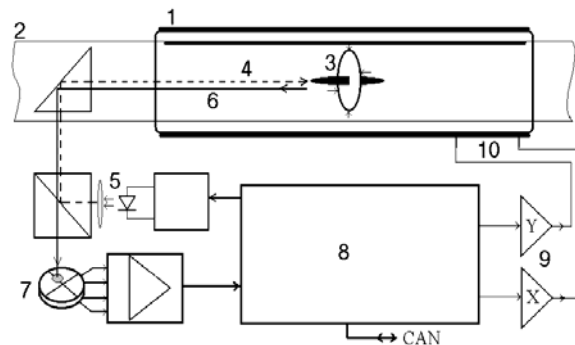


Рис. 7.17.2. Структура системы «Компас».

Выходные сигналы секторов после усиления поступают на основной блок электроники 8, размещенный за радиационной защитой. В блоке формируются



сигналы, соответствующие вертикальному и горизонтальному смещениям светового пятна. Далее эти сигналы с заданными амплитудными коэффициентами подаются на звенья ПИД-регулятора, с выхода которого - на внешние усилители мощности 9, формирующие токи в двух вытянутых плоских катушках, уложенных вертикально и горизонтально вдоль соленоида.

В начале проведения измерений чувствительный элемент перемещается в заданную область соленоида. Далее, при разомкнутой цепи ПИД-регулятора световой пучок наводится на фотодиод (вручную или от ЭВМ). Затем включается ПИД-регулятор, замыкая цепь обратной связи и выводя световое пятно в центр. Соответствующие этому состоянию токи плоских катушек регистрируются, причем создаваемые ими поля обеспечивают компенсацию в данной области соленоида паразитных поперечных компонент магнитного поля.

Данные измерения повторяется для набора точек вдоль соленоида. После этого, исходя из полученного профиля неоднородности, проводится коррекция положения секций соленоида.

**Набор управляющих и интерфейсных модулей** подготовлен сотрудниками радиофизической лаборатории для организации взаимодействия управляющих компьютеров с подсистемами кулера. Состав комплекта представлен в таблице 7.17.1.

Таблица 7.17.1. Состав управляющих и измерительных модулей для кулера COSY

Блок	Кол-во	Назначение
CAN-Ethernet	5	Организация связи с CAN- модулями
CEAC208	1	Компас
CEAC208	10	Работа с MPS-6
CEAC124	7	Работа с источниками 20А
CEAC124	2	Работа в HVT
CEAD20	6	Измерение температуры, измеритель сигналов
CEDIO_B	1	Регистр ввода/вывода
CEDIO_C	16	Управление нагревателями и сбор блокировок
Итого	43	

### 7.17.2. Измерительная электроника для бустера NSLS II.

Для бустера NSLS-II специалистами Института создана система, с помощью которой измеряются параметры импульсных полей впускных и выпускных магнитов бустера. Весной 2013 года эта электроника была интегрирована в общую систему управления бустером, проверена её работа с реальными сигналами под управлением инженерных программ (Рис.7.17.3).

Первая группа модулей, входящих в систему (модули VsDC 3), предназначена для измерения магнитных полей в септум и бамп-магнитах. Погрешность, вносимая ими при работе с импульсными сигналами микросекундного диапазона, не превышает  $3 \cdot 10^{-5}$ , что заметно лучше, чем требования к точности измерения поля в магните. Это качество позволяет с помощью модуля VsDC 3 корректировать ток мощных импульсных источников питания магнитов, добиваясь высокой стабильности их работы.

Вторая группа модулей состоит из цифровых регистраторов ADC-200ME и предназначена для осциллографирования рабочих токов в обмотках впускных и выпускных кикеров. Требования к точности регистрации находятся на уровне  $\pm 10^{-3}$ , однако длительности импульсов составляют всего 300 нс. Параметры модулей ADC-200ME позволяют при необходимости организовать обратную связь для подстройки токов кикеров.

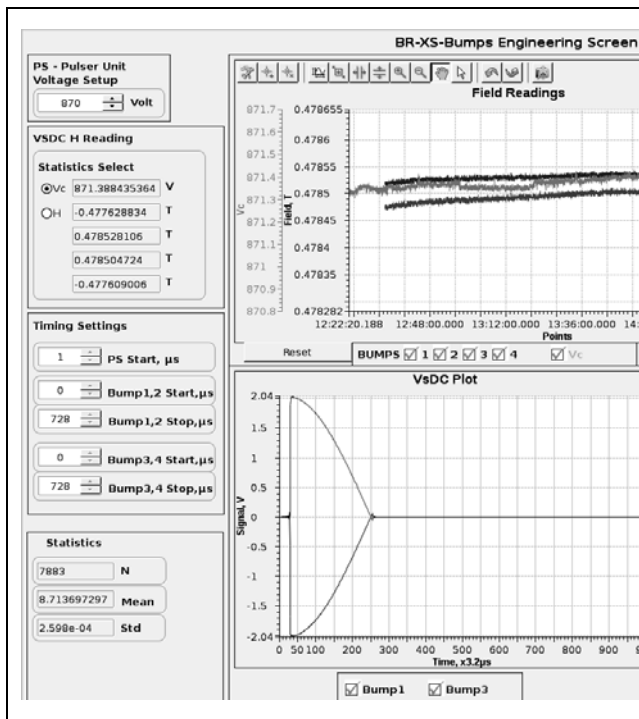


Рис. 7.17.3. Инженерный экран для контроля полей в Бамп-магнитах. Из верхнего графика видно, что шумы измерения – на уровне  $3 \cdot 10^{-5}$ , а стабильность поля лучше  $10^{-4}$ . На нижнем графике – осциллограммы с индукционных датчиков.

### 7.17.3. Контроллер ускоряющих ВЧ-станций бустера NICA.

В рамках контракта по разработке и изготовлению ВЧ-станций бустера NICA в апреле 2013 года начата разработка контроллера станций.

Важнейшей функцией контроллера является прецизионное измерение магнитного поля в апертуре магнитов бустера и генерирование задающего синусоидального сигнала, связанного с измеренным значением поля. Погрешность выдерживания соотношения между полем и частотой должны быть лучше, чем  $10^{-4}$ , откуда следует, что погрешности измерения поля и динамические ошибки задающего генератора должны быть, по крайней мере,  $5 \cdot 10^{-5}$ .

Кроме отмеченной задачи, контроллер перестраивает амплитуду ускоряющих напряжений резонаторов по заданному закону в зависимости от фазы работы бустера и управляет режимами работы мощных каскадов станций. Также контроллер измеряет около двух десятков сигналов, характеризующих поведение элементов станций в течение ускорительного цикла.

Структура контроллера представлена на рис. 7.17.4.

Устройство базируется на одноплатном компьютере с микроконтроллером ARM Cortex-A5 Atmel SAMA5D31, работающем на частоте 536 МГц. Управление периферийными устройствами осуществляется по шинам SPI и I<sup>2</sup>C с тактовыми частотами 50 МГц и 400 кГц соответственно.

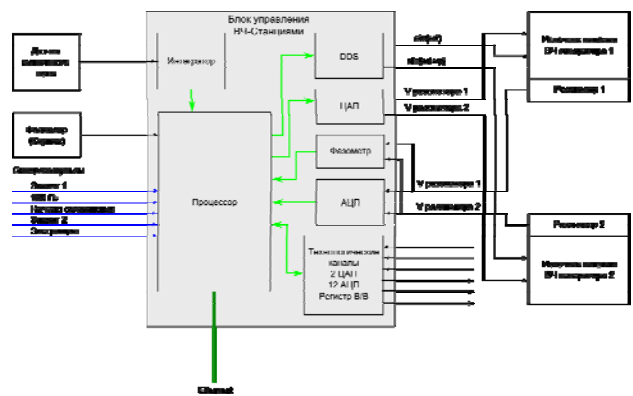


Рис.7.17.4. Структурная схема контроллера ВЧ-станций.

Программное обеспечение контроллера реализуется в виде двух сопрограмм. Первая сопрограмма представляет собой Linux с установленным сервером Tftp и служит для интеграции с СУ бустера. Вторая сопрограмма включается с началом ускорительного цикла и обеспечивает все необходимые измерения и работу задающего генератора в режиме реального времени.

### 7.17.4. Прецизионные устройства.

Институт является одним из лидеров в области разработки прецизионных устройств класса  $10^{-5}$  и выше. В 2013 году в рамках этого направления выполнялись две работы.

**Контроллер источников питания корректирующих магнитов для европейского лазера на свободных электронах (European XFEL)** реализует все функции управления мощными узлами источника. Он содержит 18-битовый ЦАП, задающий величину выходного тока, многоканальный 24-разрядный аналого-цифровой преобразователь, обеспечивающий измерение ряда напряжений, регистры ввода/вывода и CAN-bus интерфейс для стыковки с системой управления установки.

При разработке контроллеров необходимо было выполнить следующие требования:

- разрешающая способность ЦАП'a:  $10^{-5}$  (100 мкВ);
- стабильность ЦАП'a за год :  $5 \cdot 10^{-5}$  (500 мкВ);
- стабильность за 8 часов :  $10^{-5}$  (100 мкВ);
- температурная стабильность ЦАП'a: 1,5 ppm/°C;
- наработка на отказ:  $10^5$  часов (12 лет!)
- погрешность АЦП:  $10^{-5}$  (100 мкВ)

Электрические спецификации не представлялись запредельными, поскольку на установках ИЯФ используются даже лучшие по параметрам контроллеры источников типа CANDAC-20. Однако требования по долговременной стабильности и надёжности, а также требования выдержать необходимые спецификации для всей серии контроллеров (400 штук) заставило самым тщательным образом решать проблему конструкции и трассировки печатных плат, определить

производителя плат, выбирать и согласовывать с заказчиками типы компонентов и их поставщиков.



Рис. 7.17.5. Фотография контроллера.

В 2013 году было изготовлено несколько экземпляров контроллеров (Рис. 7.17.5), два из которых отправлены в DESY для подготовки программ и тестирования. Программисты DESY признали разумной и удобной систему команд этого контроллера, которая базируется на аналоговой, принятой в

ИЯФ. В то же время у наших коллаборантов возникли некоторые пожелания по расширению функциональности устройства. Как результат, сейчас функциональность контроллера заметно превосходит предыдущие разработки. В 2014 году предполагается начать серийный выпуск этих блоков и оснащенных ими изготавливаемых источников.

**Широкодиапазонный измеритель тока ионизационных камер** также следует отнести к разряду прецизионных устройств. Ионизационные камеры (ИК) применяются в работах с синхротронным излучением для мониторинга пучка СИ. Уровень выходного сигнала ИК обычно мал. В зависимости от конструкции и среды внутри камеры (вакуум / газовая среда), выходной ток может лежать в диапазоне от десятков фемтоампер до единиц микроампер.

В 2013 году изготовлены три экспериментальных устройства, позволяющих измерять токи от  $10^{-15}$  А до  $10^{-6}$  А. Они содержат два идентичных канала, в каждом из которых имеется преобразователь "ток – напряжение" и 24-разрядный АЦП. Помимо этих элементов, преобразующих токи в цифровой код, устройство содержит управляемый источник высокого напряжения с малым уровнем шума, подключаемый к камере, а также модуль связи, при помощи которого прибор соединяется с компьютером пользователя через интерфейс Ethernet. Наличие двух синхронно работающих каналов дает возможность построения системы стабилизации положения пучка СИ на базе данного измерителя.

Функциональность устройства также позволяет использовать его не только в работах с ионизационными камерами, но и в других исследованиях, где необходимо измерять сверхмалые токи, например, в РН-метрии, либо при исследовании полупроводниковых структур.

На рисунке 7.17.6 устройство показано со снятым кожухом и подключенным к ИК. Соединение с камерой непосредственное – это позволило выполнить все электрические связи с ней напрямую, без использования кабелей и разъёмных соединений.

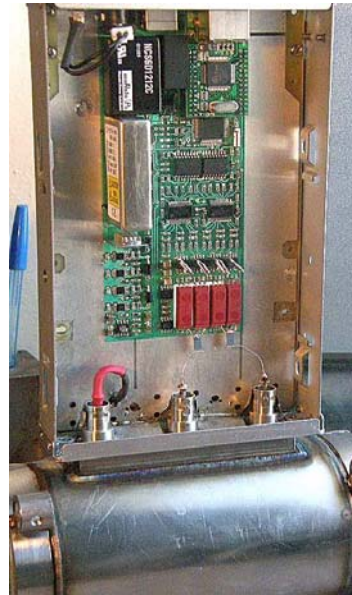


Рис. 7.17.6. Фотография измерителя фемтоамперных токов, закреплённого на ионизационной камере.

*7.17.5. Исследования, направленные на улучшение стабильности и снижение уровня пульсаций поля в магнитах ВЭПП-4 до уровня  $5 \cdot 10^{-7}$ .*

Необходимость этой работы вызвана подготовкой новых экспериментов по физике высоких энергий. Работа была разделена на два этапа. На первом проведено тщательное исследование возможности модулей CANDAC-20, которые являются контроллерами источников типа ИСТ и в первую очередь определяют параметры тока магнитов по точности в полосе до 1 Гц. Далее была проведена тщательная ревизия схемотехники CANDAC-20, что позволило усовершенствовать ряд узлов. Результаты этой работы представлены на рис. 7.17.7.

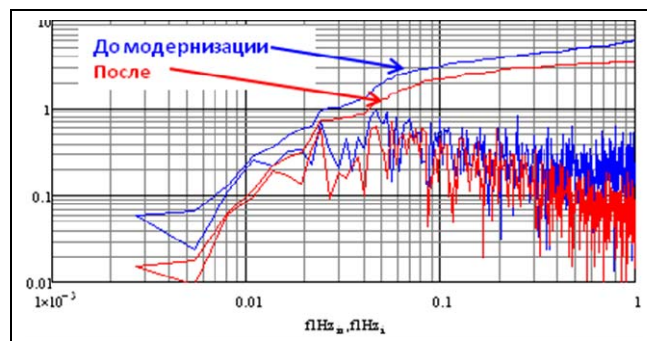


Рис. 7.17.7. Спектр пульсаций и напряжение пульсаций CANDAC-20 (в микровольтах) в зависимости от полосы частот до модернизации и после.

Из рисунка видно, что в полосе до 1 Гц уровень пульсаций был снижен в среднем в 2 раза и стал равным  $2 \cdot 10^{-6}$ .

Для частотного диапазона 1÷100 Гц определяющий вклад в нестабильность вносят мощные элементы ИСТ'а. Уровень пульсаций здесь уже не зависит от качества управляющего напряжения CANDAC-20, в связи с чем было предложено исследовать возможность подавления высокочастотных пульсаций с помощью индукционного метода.

Суть предложения состояла в том, чтобы, измерив индукционным датчиком пульсации поля, корректировать ток в обмотку магнита с помощью параллельно подключенного к ИСТ'у генератора, ток которого противоположен измеренным пульсациям. Для осуществления этого предложения сначала следовало убедиться, что измерить пульсации магнитного поля с амплитудой  $5 \cdot 10^{-4}$  Гс ( $\Delta B/B \sim 3 \cdot 10^{-7}$ ) в полосе 100 Гц вполне реально. Затем замкнуть обратную связь и проверить, удастся ли скорректировать пульсации на локальном участке магнитной структуры, что представлялось более простым, чем сразу работать со всеми магнитами кольца.

Эксперименты по коррекции пульсаций проводились с отдельным, так называемым калибровочным магнитом, включенным последовательно в общую структуру. Полученные результаты представлены на рис. 7.17.8. Показаны два типа графиков: спектральный состав пульсаций и уровни пульсаций поля в зависимости от полосы частот, полученные как корень квадратный из суммы квадратов амплитуд компонентов спектра.

Для обоих типов графиков демонстрируется ситуация до и после включения коррекции, откуда видно, что в калибровочном магните удастся снизить уровень пульсаций практически на порядок. В 2014 году эти эксперименты будут продолжены уже со всей магнитной системой.

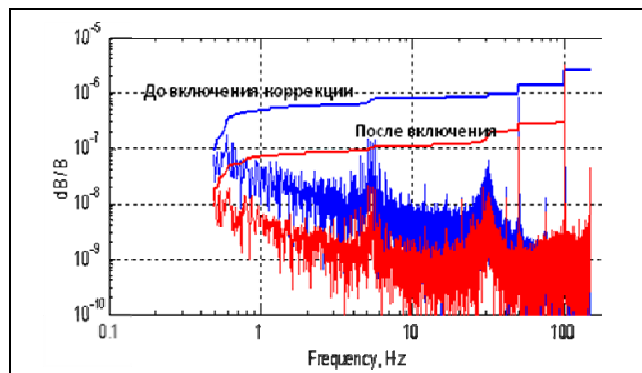


Рис. 7.17.8. Уровни пульсаций поля в зависимости от полосы частот (верхние кривые) и спектры пульсаций (нижние кривые) (в единицах) до включения коррекции и после. Все графики – в единицах  $\Delta B/B$ ,  $B=1800$  Гс).

### 7.17.6. Системы магнитных измерений на основе индукционного метода.

Известно, что в магнитных измерениях, основанных на индукционном методе, необходимо интегрирование сигнала. В последние годы в Институте для таких измерений было создано новое поколение электроники, в которой используется цифровой способ получения интеграла. Найденные в процессе разработки решения позволили создать точные и вместе с тем широкополосные и многофункциональные интеграторы VsDC 2 и VsDC 3 (Volt-second to Digital Converter), которые, начиная с 2012 года, широко применяются в работах института. Ниже приведём примеры работ 2013 года.

**Модернизация системы измерений импульсных полей канала перепуска из накопителя БЭП в коллайдер ВЭПП-2000.** В канале установлены 22 импульсные линзы, 4 импульсных дипольных поворотных магнита и 2 септум-магнита. Стабильность полей, генерируемых магнитными элементами канала, контролируется с помощью индукционных датчиков. Причем датчиками, измеряющими собственное магнитное поле, снабжены только мощные дипольные магниты и септум-магниты. Для остальных элементов канала измеряется не поле, а ток в шине, питающей линзу, с помощью поясов, расположенных в источниках питания типа «АККОРД». Система измерения строится на базе интеграторов VsDC2 и насчитывает 40 измерительных каналов.

Аналогичным образом выполнена аппаратура импульсных измерений в магнитных элементах канала К 500. Для питания импульсных магнитов используется новое поколение источников типа ГИД-25.

Эти источники размещаются в крейтах Евромеханики и являются функционально полными устройствами, включающими модули управления и связи с ЭВМ, силовые устройства и интеграторы VsDC2. Фотография управляющих и измерительных модулей источника ГИД-25 представлена на рис. 7.17.9.



Рис.7.17.9. Управляющие и измерительные модули источника ГИД-25.

### 7.17.7. Производство и эксплуатация ранее созданной аппаратуры.

Ежегодно сотрудники Института занимаются серийным производством блоков, разработанных в предыдущие годы и необходимых для модернизации существующих или оснащения вновь создаваемых систем. В 2013 году изготовлены в радиопроизводстве, налажены и передаются в эксплуатацию:

- 14 блоков CEAC-124
- 10 блоков CEAC-208
- 5 блоков CEAC-51
- 15 блоков CGVI-8ME
- 7 блоков CAS-208
- 40 блоков VsDC 2
- 5 блоков VsDC 3
- 20 блоков ИПП-32

Продолжается поддержка электроники различных экспериментальных и производственных стендов Института. Так, в рамках деятельности, обеспечивается производство и измерение многочисленных магнитных элементов, изготавливаемых в институте. В работоспособном состоянии поддерживаются системы управления четырьмя печами, применяемыми для горячей склейки магнитных элементов. В последние годы управляющая электроника печей строится на базе новых современных контроллеров (рис.7.17.10).



Рис.7.17.10. Новый контроллер печей.

Постоянной и очень внимательной заботы требуют системы, обеспечивающие прецизионное измерение параметров магнитных элементов и эксплуатируемые на стендах магнитных измерений. Сейчас в институте используются пять Холловских систем и три системы на основе индукционного метода.

Таковыми же традиционными задачами радиофизической лаборатории являются техническое обслуживание и ремонт многих сотен электронных блоков, созданных в лаборатории и находящихся в эксплуатации на установках института и за его пределами.

Так как массовая автоматизация в предыдущие десятилетия выполнялась на базе стандарта КАМАК, то основной объем эксплуатируемой аппаратуры – это КАМАК-блоки. Проиллюстрируем это справкой за 2013 год, предоставленной Л1-3. В таблице 7.17.2 для справки приведено количество КАМАК-электроники только на комплексе ВЭПП-4.

Таблица 7.17.2. Количество КАМАК аппаратуры системы управления ВЭПП-4 в 2013 году.

«Одренок»	Назначение	Модулей КАМАК
MSVEPP-4	Управление магнитной системой ВЭПП-4М	70
BEAMV-4	Диагностика пучка ВЭПП-4М	90
MSV3	Управление магнитной системой ВЭПП-3	40
RFV3	Управление ВЧ системой ВЭПП-3	20
BEAMV-3	Диагностика пучка ВЭПП-3	40
UPO	Управление инжектором "Позитрон"	80
IPO	Контроль инжектора "Позитрон"	40
CHAN	Управление каналом ВЭПП-3/ВЭПП-4М	70
BEAMPO	Диагностика пучка в каналах транспорт.	20
CONTROL	Контроль вакуума и температуры	20
FOTHSCAN	Контроль положения пучка СИ из ВЭПП-3	6
<b>Итого:</b>		<b>496</b>

В заметных количествах КАМАК-модули и системы используются на комплексах ВЭПП-2000, ЛСЭ, ГОЛ-3, ГДЛ, детекторе КЕДР, различных стендах. Самому «молодому» КАМАК-блоку - АЦП-333 – уже 13 лет, а самым «старым» - около 35. Сотрудники лаборатории проявляют немало находчивости в поиске микросхем выпуска 80-х годов, в ремонте отслаивающихся проводников на печатных платах, восстановлении разъёмов и т. п. Видимо, уже наступило время принять решение о разработке нового поколения электроники для многочисленных систем автоматизации установок Института.



8

МОЩНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ  
УСКОРИТЕЛИ





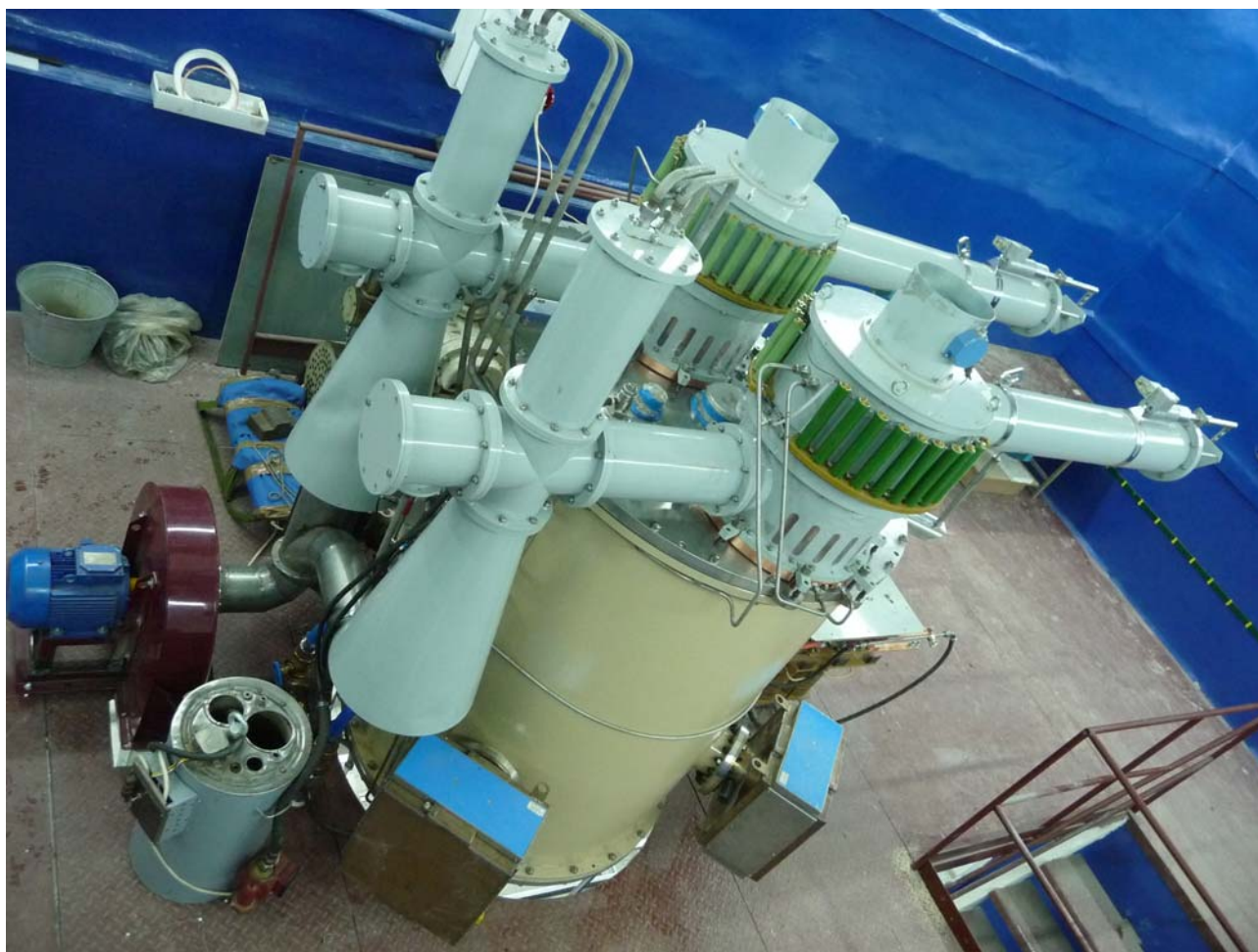


Рис. 8.1.1. Ускоритель ИЛУ-10 для совместной лаборатории НГУ и ИЯФа.

## 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 заказами на оборудование.

Начато изготовление ускорителя ИЛУ-8 в местной защите и подпучкового устройства по договору с ОАО ОКБ КП, г. Мытищи. Ускоритель ИЛУ-8 предназначен для радиационной обработки проводов и кабелей.

По контракту с Южнокорейской фирмой EB-TECH Co.Ltd. было отправлено и смонтировано оборудование для генерации тормозного излучения – 2 конвертера с коллиматорами для двух ускорителей мощ-

ностью до 10 кВт на диапазон энергии от 5 до 7,5 МэВ.

Проведены наладочные работы на ускорителе ИЛУ-10 в Парке ядерных технологий, г. Курчатов, Казахстан.

По контракту с BARC, Индия, Мумбаи, был изготовлен новый резонатор для ускорителя ИЛУ-6, ранее поставленного в Индию. В результате модернизации вместо ускорителя ИЛУ-6 с максимальной энергией 2,5 МэВ заказчик получит ускоритель ИЛУ-10М с максимальной энергией 5 МэВ и максимальной мощностью пучка 15 кВт. Резонатор испытан в ИЯФ, принят представителем заказчика и отправлен в BARC.

В здании №16 ИЯФа продолжились работы по созданию совместной учебно-научной лаборатории радиационных технологий физического факультета НГУ и ИЯФа. Для этой лаборатории изготовлен ускоритель ИЛУ-10 (Рис. 8.1.1) и его система питания (Рис.8.1.2).



Рис. 8.1.2. Система питания ускорителя ИЛУ-10 для совместной лаборатории НГУ и ИЯФа.

## 8.2. РАЗРАБОТКА РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ФЕРРИТОВ.

Разработка процесса радиационно-термического синтеза ферритов проводилась совместно с Институтом химии твёрдого тела СО РАН в рамках государственного контракта № 14.513.11.0056 на выполнение поисковых научно-исследовательских работ по теме «Разработка научно-технических основ получения нанопрекурсоров и радиационно-термического синтеза ферритовой керамики для применения в радиоэлектронике и приборостроении с использованием интенсивного электронного пучка с энергией до 5 МэВ и методов синхротронного излучения для анализа продуктов».

Были отработаны процессы подготовки реакционных смесей, способы и температурные режимы проведения радиационно-термического синтеза ферритовой керамики.

Параллельно для сравнения проводился синтез ферритовой керамики традиционным термическим методом из тех же самых реакционных смесей. Параметры экспериментальных образцов ферритовой керамики измерялись различными способами.

Исходные реакционные смеси оксидов для синтеза ферритовой керамики готовились из покупных лабораторных оксидов металлов, из нанопорошков оксидов, полученных методом испарения интенсивным электронным пучком, генерируемым ускорителем ЭЛВ-6 и последующей конденсации паров оксидов, а также применялась механоактивация смесей оксидов металлов в мельницах для их перемешивания и измельчения, измеренные размеры частиц после помола были от 30 до 100 нанометров.

Испарение оксидов осуществлялось на установке ЭЛВ-6.

Структурные и фазовые составы экспериментальных образцов ферритовой керамики исследовались различными методами (томографическая

съемка, дифрактометрические исследования поверхностей и дифрактометрия краёв образцов на просвет), в том числе – с использованием синхротронного излучения.

Малый размер частиц исходных оксидов и радиационно-термический процесс позволяют провести синтез ферритовой керамики за короткое время – вплоть до нескольких минут при температуре до 900°C. При этом реакция синтеза ферритов проходит до конца – содержание исходных оксидов в лабораторных образцах после завершения процесса синтеза может быть близким к нулю, что было зафиксировано результатами исследований, в том числе – методом рентгеновской дифракции высокого разрешения – самым чувствительным методом, обеспечивающим наивысшую точность и чувствительность – менее 0,1%. (Содержание исходных оксидов в товарных образцах ферритов может достигать 30%).

В полученных радиационно-термическим способом образцах ферритовой керамики измеренные методом обратной дифракции электронов размеры зёрен составляют 0,3-0,5 мкм. Исследования высокочастотного феррита марки 100ВЧ (магнитная проницаемость равна 100) методом обратной микродифракции электронов показали размер зерна до 5 мкм.

Ферритовая керамика с размером зерна 0,5 мкм обладает малым значением магнитной проницаемости – от 10 до 80. Такие ферриты пригодны для использования в сверхвысокочастотном диапазоне.

Для контроля были проведены работы по сравнению процессов термического и радиационно-термического синтеза, показавшие преимущество радиационно-термического синтеза – понижение температуры синтеза и сокращение времени синтеза с 18-20 часов до 20-30 минут.

## 8.3. РАЗРАБОТКА НОВЫХ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Совместно с Институтом горного дела СО РАН проводились исследования по радиационной обработке измельчённых руд. Облучение большинства рудных образцов привело к уменьшению энергозатрат на последующее измельчение, повышению раскрываемости руды и повышению выхода соединений цветных металлов.

Радиационно-термическая обработка железных руд приводила к фазовым переходам и появлению магнитных свойств у немагнитных соединений железа (происходило, в частности, образование магнетита), что позволило использовать метод магнитной сепарации для дальнейшего обогащения руды.

Были продолжены работы по электронно-лучевой обработке кормовых смесей для птиц, проводимой 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 было продолжено исследование влияния 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.

Продолжены работы по исследованию влияния облучения на образцы из специальным образом приготовленной нейлоновой плёнки с различными пропитками. Цель совместной работы с Институтом химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН – создание протезов кровеносных сосудов. Первые опытные образцы протезов уже успешно вживлены мышам. Конечная цель – наращивание собственных тканей организмов на этих протезах.

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 БЕЛАРУССИИ № 19 совместно с Институтом химии твёрдого тела СО РАН.

## 8.4. НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ СЕРИИ ЭЛВ

### 8.4.1. Поставки ускорителей.

В 2013 году поставлено 10 ускорителей ЭЛВ. 6 ускорителей поставлены в полной комплектации, 4 ускорителя поставлены в кооперации (Южная Корея, Китай). В этот же период произведена сборка наладка и запуск 15 ускорителей.

Таблица 8.4.1. Распределение ускорителей ЭЛВ по энергии.

ELV-4 (1.0 MeV, 1.5 MeV)*100 kW	6
ELV-8 (2.5 MeV)*100 kW	4

Таблица 8.4.2. Распределение ускорителей ЭЛВ по странам.

страна	Поставка 2013	Запуск и наладка
Китай	4	9
Корея	3	3
Индия	1	0
Германия	1	1
Россия	1	2
Индонезия	0	1
Всего	10	15

### 8.4.2. Совместные Эксперименты .

В настоящее время в Национальной Лаборатории Сверхпроводящего Циклотрона при Университете Штата Мичиган, Ист-Лэнсинг, США (Michigan State University National Superconducting Cyclotron Laboratory) разрабатывается установка нового поколения по получению пучков редких изотопов FRIB (Facility for Rare Isotope Beams). Главной ее целью является получение и изучение новых изотопов химических элементов для исследования фундаментальных свойств материи. Введение установки в эксплуатацию планируется в 2018 – 2019 годах. В установке FRIB реализована схема фрагментации первичного пучка ионов на твердотельной мишени. Пучок ионов (от кислорода до урана, включительно) мощностью 400 кВт, энергией до 200 МэВ/нуклон и поперечным размером около 1 мм при столкновении с углеродной мишенью раскалывается на фрагменты, производя новые изотопы, которые затем направляются в экспериментальную зону для изучения.

Мишень для производства изотопов представляет собой многосекционный диск, изготовленный из графита, вращающийся со скоростью до 5000 об/мин. Ее отличительной особенностью является высокая (до 1900 °С) температура, что обусловлено выделением в ней части мощности первичного пучка в виде тепла. В процессе разработки конструкции мишени особое внимание уделялось ее надежности в эксплуатации. С этой целью был изготовлен прототип мишени для испытания его под пучком электронов мощностью до 50 кВт и энергией 700 кэВ.

В рамках сотрудничества между ИЯФ и Университетом Штата Мичиган в ИЯФ проведены испытания графитовой мишени для FRIB под электронным сфокусированным пучком ускорителя ЭЛВ-6. Во время проведения совместных экспериментов с участием сотрудников Мичиганского университета была достигнута расчетная температура и смоделирован рабочий режим эксплуатации мишени в установке FRIB.

В процессе испытаний графитовые мишени помещались в герметичную вакуумную камеру, изготовленную из нержавеющей стали, которая крепилась непосредственно к выпускному устройству ускорителя электронов ЭЛВ. Электронный пучок, генерируемый ускорителем ЭЛВ и имеющий размер порядка

нескольких миллиметров, поглощался в графитовой мишени и нагревал ее до требуемых высоких температур. Для снятия мощности мишень вращалась со скоростью несколько тысяч оборотов в минуту. В ходе совместных экспериментов исследовалась механическая стойкость графитовой мишени как к краткосрочным (до 1 часа), так и к стационарным (несколько часов) нагревам. Подбирались режимы нагрева, наименее разрушительные для материала мишени. Кроме того, измерялось температурное распределение в радиальном направлении.

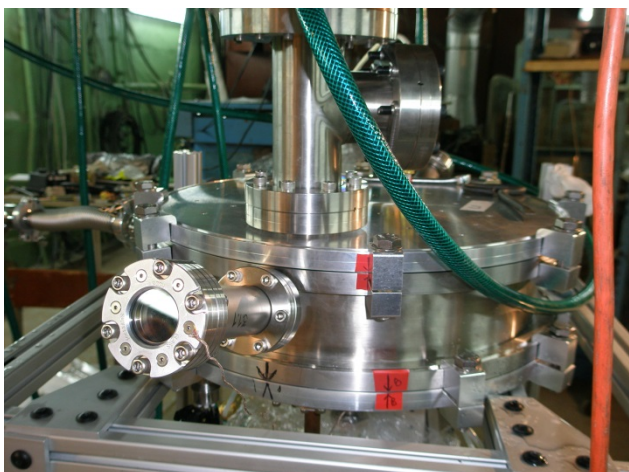


Рис. 8.4.1. Вакуумная камера прототипа мишени.



Рис. 8.4.2. Набор графитовых слайсов мишени.

Для дистанционного контроля температуры мишени вакуумная камера была снабжена оптическими окнами. Контроль температуры производился оптическим датчиком через набор оптических зеркал. Для снятия тепловой мощности с мишени внутрь вакуумной камеры были помещены панели водяного охлаждения.

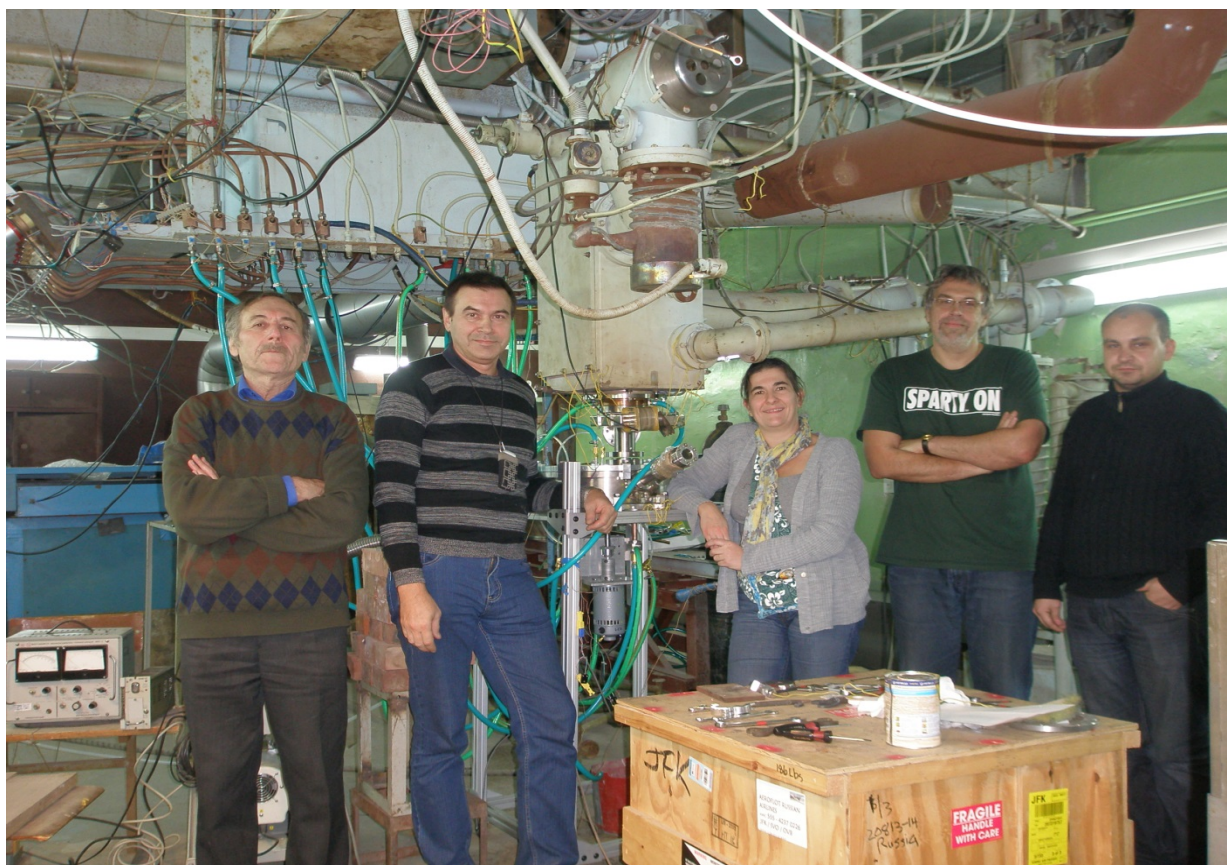


Рис.8.4.3. Сотрудники ИЯФ и Мичиганского университета после успешного окончания экспериментов на стенде лаборатории.

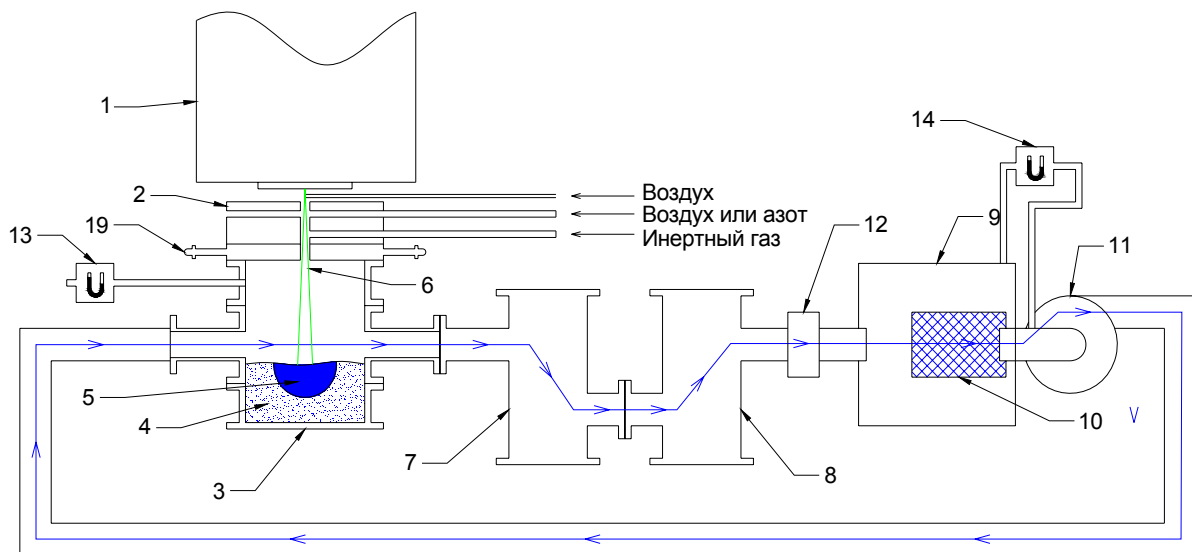


Рис. 8.4.4. - Схема усовершенствованной лабораторной установки с замкнутым несущим потоком.

1 – выпускное устройство ускорителя ЭЛВ-6; 2 - фланец газового затвора; 3 - водоохлаждаемый реактор; 4 - испаряемый материал; 5 - расплавленный материал; 6. – электронный пучок; 7 – резервуар №1 охлаждения аэрозоля и сепарации крупной фракции; 8 - резервуар охлаждения аэрозоля и сепарации крупной фракции №2; 9 – бокс фильтрации; 10 - рукавный фильтр; 11 – вентилятор; 12 - модуль контроля производительности нанопорошка; 13 - дифференциальный манометр ПРОМА-ИДМ для измерения давления в реакторе; 14 - дифференциальный манометр для измерения разности давлений до и после рукавного фильтра.

#### 8.4.3. Получение нанопорошков с применением сфокусированного электронного пучка, выпущенного в атмосферу.

С целью повышения производительности и качества получаемых нанопорошков была проведена модернизация лабораторной установки для получения нанопорошков. Модернизация включала автоматизацию записи параметров установки, в частности, расхода потоков охлаждающей воды, контроль потоков транспортирующего газа и контроль разности давлений по тракту транспортировки нанопорошка. Для повышения чистоты получаемых нанопорошков была улучшена изоляция в зоне впускного отверстия пучка от попадания атмосферного воздуха в камеру испарения. Изоляция достигалась за счёт отсекающих газовых потоков (рис. 8.4.4). Замыкание потока инертного газа с выхода тракта на вход установки в камеру испарения позволило уменьшить расход инертного газа в процессе получения нанопорошков. До модернизации инертный газ выходил в систему вентиляции.

#### 8.4.4. Наплавка порошковых материалов на металлы.

В 2013 году были продолжены исследования по наплавке модифицирующих порошков на металлические поверхности с применением сфокуси-

рованного электронного пучка, выпущенного в атмосферу. Исследования проводились в сотрудничестве с кафедрой «Материаловедение в машиностроении» Новосибирского государственного технического университета.

В рамках этих исследований разработана методика наплавки тугоплавких и тяжёлых металлов: тантала, ниобия, циркония на титановую основу. Целью формирования таких покрытий является придание поверхностному слою материала особо высокой коррозионной стойкости по отношению к некоторым сильным кислотам, таким, как азотная и серная. Кроме того, в силу своей высокой биосовместимости, сплавы системы Ti-Ta-Nb представляют интерес для медицинских применений как материал для имплантатов.

Разрабатываемый метод наплавки обладает высокой производительностью – до  $7 \text{ см}^2/\text{с}$  ( $2,5 \text{ м}^2/\text{ч}$ ), толщина формируемых покрытий составляет 2-3 мм. Концентрация легирующих компонентов в покрытиях при однослойной наплавке достигает в зависимости от вида легирующего компонента 20–25 вес %, толщина модифицированного слоя равна 1,8–2,2 мм. За счёт увеличения числа наплавленных слоёв концентрация легирования возрастает до 40–50 вес %, а толщина слоя – до 3 мм. В таблице 8.4.3 представлены некоторые примеры концентраций химических элементов в наплавленных слоях.

Исследования показали, что формируемые покрытия обладают хорошим комплексом механических

свойств, практически лишены дефектов и обладают адгезией к основе не ниже прочности самой основы. На рис. 8.4.5 показана схема испытаний на адгезионную прочность покрытий. Разрушение материалов в зоне соединения покрытия с основой происходило при напряжении 410... 430 МПа, что соответствует пределу прочности титана.

Несколько серий испытаний на коррозионную стойкость в кипящей концентрированной азотной кислоте (рис. 8.4.6) показали, что коррозионная стойкость материала покрытий возрастает в 100 и более раз по сравнению со стойкостью титановой основы.

#### 8.4.5. Возможные применения нанопорошков.

В процессе поиска активаторов и органической основы для нанокompозитных пластиковых оптоволоконных усилителей полуторамикронного диапазона исследовалась возможность снизить опалесценцию и увеличить показатель преломления за счет согласования показателей преломления компонентов

и уменьшения размеров эрбийсодержащих наночастиц активатора.

Исследовано затухание люминисценции твердого раствора тиюфосфинатных и фторхинолоновых комплексов тербияэрбия, иттербия и европия в органическом стекле.

Отмечена перспективность использования светодиодной ультрафиолетовой накачки гелевых и стеклопластиковых лазеров с редкоземельными активаторами.

Измерен световыход пластмассового рентгенолюминофора с добавкой ультрадисперсного активатора - порошка бария фторида (перспективность которого в качестве субнаносекундного УФ сцинтиллятора для времяпролетной позитронной томографии была выявлена Я. Валбис еще в 1986 году). К сожалению, крупнотоннажные пластики (за исключением полиолефинов, быстро мутнеющих в результате кристаллизации) не отличаются достаточной прозрачностью для ультрафиолета, поэтому приходилось добавлять в композицию терфенил и антрацен, преобразующие исходный ультрафиолет в способное распространяться в полистироле излучение.

Таблица 8.4.3.

Номер режима	Компоненты исходной порошковой смеси в весовых %			Число наплавков	Химический состав покрытия в весовых % (остальное – титан).		Толщина покрытия, мм
	Ta	Nb	Ti		Ta	Nb	
1	22	0	38	1	10,5±1,5	0	1,4
2	40	0	24	1	22,3±1,1	0	2,2
3	51	0	18	3	34,3±5,1	0	2,6
4	20	15	26	1	5,8±0,8	11,0±0,6	2,5

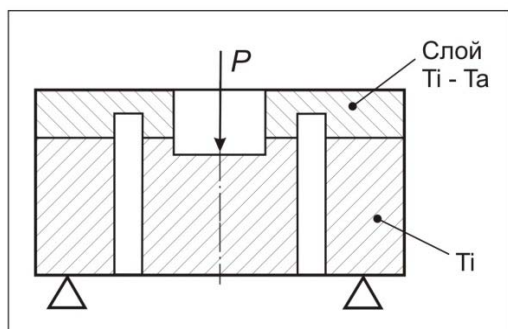


Рис.8.4.5. Схема испытания покрытий на адгезионную прочность.

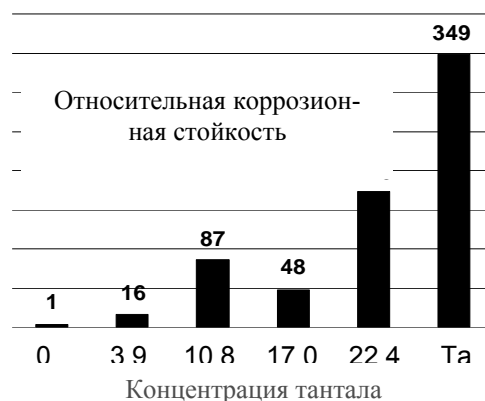


Рис.8.4.6. Результаты испытания на коррозионную стойкость материала покрытий с разной концентрацией тантала.

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  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ . Увеличение в 2012 году тока протонного пучка и надёжности работы установки позволили провести исследования по генерации интенсивного потока эпитепловых нейтронов. В течение 2013 года проведено исследование параметров генерируемых нейтронов – определён энергетический спектр, получены данные по угловому распределению интенсивности нейтронного потока. Осуществлены *in vitro* исследования, качественно демонстрирующие эффект БНЗТ. Обнаружен новый эффект влияния перезарядного газа на работу ускорителя-тандема, действие которого существенно затрудняет увеличение токов протонного пучка до уровня десятков миллиампер, предложены способы преодоления этого эффекта.

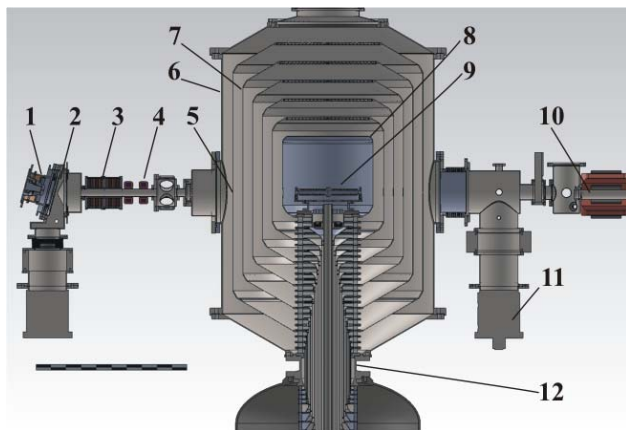


Рис. 9.1.1. Ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией. 1 – НГ ионный источник, 2 – диафрагма, 3 – магнитные линзы, 4 – корректор, 5 – место временного расположения детектора пучка, 6 – ускоритель, 7 – электроды, 8 – высоковольтный электрод, 9 – обдирочная мишень, 10 – высокоэнергетический тракт пучка, 11 – насос откачки, 12 – проходной изолятор.

Общий вид ускорителя приведен на рисунке 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 обдирочной 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. Измерение спектра нейтронов.

Достигнутые результаты по длительной стабильной генерации нейтронов при токе протонного пучка 1,5–2,5 мА позволили провести измерение спектра нейтронов времяпролетной методикой. Для создания коротких импульсов нейтронов применено новое техническое решение, состоящее в следующем. Ускоритель работает в стационарном режиме, генерируя протоны с энергией 1,875 МэВ, чуть ниже порога рождения нейтронов. Протоны с допороговой энергией попадают на электрически изолированную литиевую мишень, на которую при этом подаются короткие 200 нс импульсы высокого напряжения 40 кВ. Во время импульса напряжения энергия протонов возрастает до 1,915 МэВ и генерируются нейтроны. Энергия вылетевших нейтронов определяется по интервалу времени между высоковольтным импульсом и попаданием нейтрона в удаленный детектор.

Поскольку ранее такой способ генерации коротких импульсов нейтронов в мире никем не применялся, пришлось решить ряд проблем, мешавших проведению измерений. Интересной проблемой оказался шумовой сигнал на получаемом спектре нейтронов. Было обнаружено несколько источников этого шума, а именно: 1) отраженные от стен и пола нейтроны; 2) шумовые нейтроны от реакций  ${}^{55}\text{Mn}(p,n){}^{55}\text{Fe}$  и  ${}^{63}\text{Cu}(\alpha,n){}^{66}\text{Ga}$ , вызванные попаданием протонного пучка на конструкционные материалы установки; 3) большой поток сопутствующих  $\gamma$ -квантов; 4) недостаточная стабильность энергии протонов, приводящая к нежелательной генерации нейтронов при превышении порога 1,882 МэВ. Оригинальные технические решения для подавления этих шумов, а также способ постоянного контроля соотношения сигнал/шум были зарегистрированы в качестве ноу-хау.

В результате предпринятых мер удалось измерить спектр нейтронов при энергии протонов  $1,915 \pm 0,005$  МэВ. Измеренный спектр представлен на рисунке 9.1.2 в сравнении с расчетным спектром.

нейтронов  $10^6 / \text{с см}^2 \text{ ед. летаргии}$

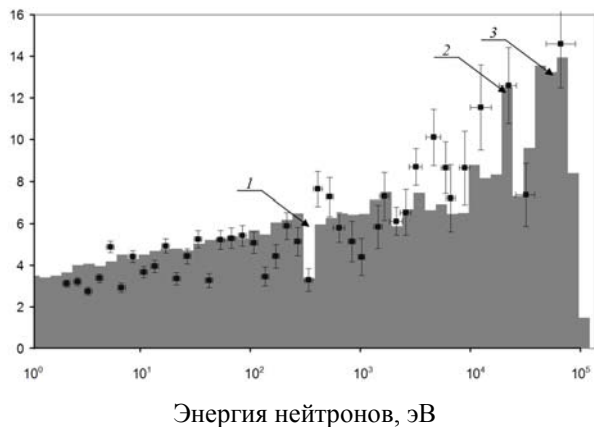


Рис. 9.1.2. Сплошными столбцами показан расчетный спектр. Точками показан измеренный спектр. 1 – линия 340 эВ, связанная с рассеянием нейтронов на  $^{55}\text{Mn}$ . 2, 3 – линии пропускания  $^{55}\text{Fe}$  24,5, 72,9 и 82,0 кэВ.

### 9.1.3. Пространственное распределение и интенсивность генерируемого излучения.

Пространственная однородность нейтронного потока определялась с помощью активационной диагностики и нейтронного дозиметра ДКС-96 (ОАО НПП «Доза», Россия). В качестве активационных детекторов использовались таблетки индия диаметром 10 мм и массой 0,2 грамма, то есть средняя толщина таблетки составляла 400 микрон. Резонансная энергия захвата нейтронов для  $^{115}\text{In}$  (изотопная распространённость 95,71 %) составляет 1,45 эВ. Детекторы располагались в различной геометрии вокруг мишени. При расположении детекторов в плоскости мишени на расстояния 15 см от мишени получены данные, представленные на рисунке 9.1.3.

активность детектора, Бк.



Рис. 9.1.3. Пространственное распределение интенсивности нейтронного потока под мишенью по активации индия.

Измерение позволяет понять, что наибольшая плотность нейтронного поля сосредоточена в области диаметром около 5 см вокруг вертикальной оси мишени, за пределами которой количество нейтронов резко снижается. Такая неоднородность объяснима устройством водяного охлаждения мишени, имеющим минимальную толщину как раз вблизи оси мишени, а также присутствием элементов конструкции, приводящих к дополнительным отражениям нейтронов (всплеск на левом крыле графика).

Зависимость интенсивности нейтронного потока от расстояния до мишени показана на рисунке 9.1.4.

Активность детекторов, Бк

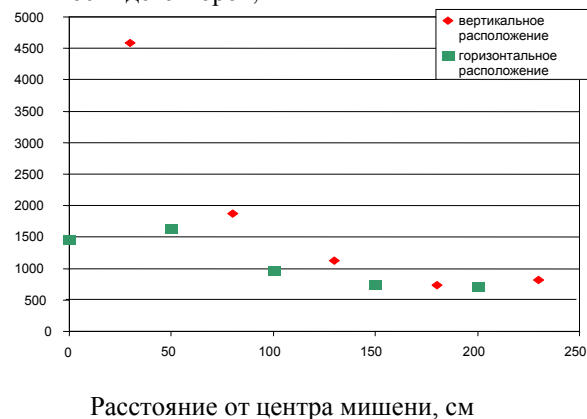


Рис. 9.1.4. Зависимость интенсивности нейтронного потока от расстояния до центра мишени по активации индия.

Полученные результаты показывают, что нейтронный поток, генерируемый в припороговом режиме, имеет заметную направленность, при этом, начиная с расстояния около полутора метров и далее, в активацию детекторов начинают вносить существенный вклад поток рассеянных нейтронов, интенсивность которого практически не зависит от направления и расстояния до мишени.

Пространственное распределение мощности дозы нейтронов, измеренное с помощью дозиметра, выполнено под мишенью на различных расстояниях от мишени по оси движения протонного пучка и вне оси. На рис. 9.1.5 приведены измеренные значения (указано расстояние от литиевого слоя до центра сферы замедлителя детектора, толщина мишени принимается равной 6 см), нормированные на 1 мА протонного тока на мишени, и кривая, близкая к  $1/r^2$ , откорректированная с учетом конечного размера мишени. Расчетная кривая хорошо вписывается в измеренные точки, если предположить наличие фона на уровне 50 мЗв/час @ 1 мА (от отраженных нейтронов). Напрямую измерение дозы ближе 20 см от мишени оказалось невозможно физически из-за большого диаметра сферического замедлителя дозиметра ДКС-96. Экстраполяция графика в область

меньших координат даёт значение 20 Зв/ч @ 1 мА на расстоянии 2 см от нижней границы мишенного узла.

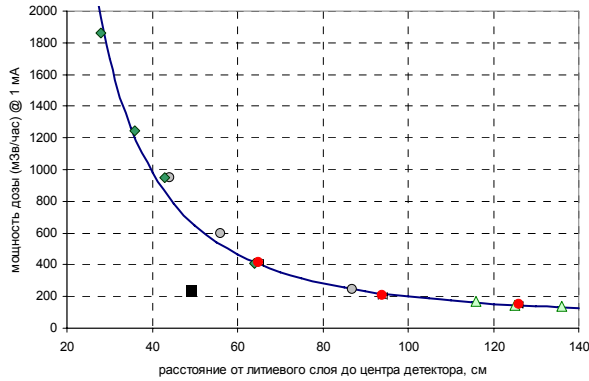


Рис. 9.1.5. Зависимость интенсивности нейтронного потока от расстояния до центра мишени по оси движения исходного протонного пучка, измеренная дозиметром ДКС-96.

#### 9.1.4. Влияние перезарядного газа на работу ускорителя-тандема.

В процессе работы был обнаружен необычный эффект: при увеличении газонапуска в перезарядную мишень больше некоторого значения степень обдирки пучка уменьшалась, в то время как теоретическая зависимость выходит на стабильное значение 99,998% перезарядки. Объяснение эффекта было найдено в анализе взаимодействия пучка с аргоном в обдирочной мишени. Прохождение мощного протонного пучка через обдирочный газ ведет к ионизации газа, часть положительно заряженных ионов проникает в ускорительный тракт с обеих сторон от обдирочной мишени и ускоряется электрическим полем, вплоть до полного потенциала высоковольтного электрода. Формирование пучка ускоренных ионов аргона приводит к следующим проблемам. Во-первых, часть мощности высоковольтного источника питания расходуется на ускорение этого пучка. Во-вторых, неравномерное попадание ускоренного пучка ионов обдирочного газа на промежуточные электроды ускорительного тракта ведет к перераспределению их потенциалов, изменению условий ускорения и фокусировки инжектируемого пучка заряженных частиц. В-третьих, попадание ускоренного пучка обдирочного газа на электроды приводит к модификации их поверхности (Рис. 9.1.6.) и при больших токах пучка может даже оплавливать или деформировать их.

Для решения этой проблемы предлагается использовать магнитное поле, отклоняющее поток положительно заряженных ионов обдирочного газа внутри высоковольтного электрода с тем, чтобы исключить их прохождение через диафрагму электрода и попадание в ускорительный тракт.



Рис. 9.1.6. Отпечаток аргонового пучка на поворотной диафрагме, расположенной на входе ионного пучка в ускоритель.

Поскольку в создаваемом поперечном магнитном поле будут отклоняться не только вытекающие ионы обдирочного газа, но и ионы высокой энергии, как инжектируемые отрицательно заряженные на входе в обдирочную мишень, так и положительно заряженные на выходе из неё, саму мишень предлагается наклонить либо сместить. Примеры возможной реализации проиллюстрированы на Рис. 9.1.7.

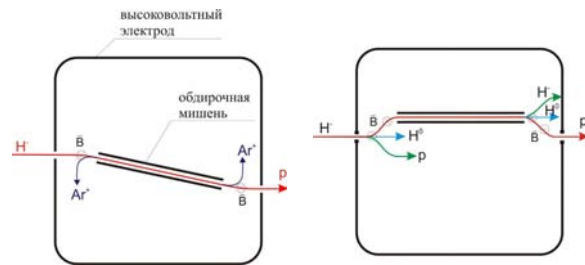


Рис. 9.1.7. Концепция магнитного подавления ионов аргона в варианте наклонной (слева) или смещённой (справа) перезарядной мишени.

#### 9.1.5. Модернизация установки.

Для обеспечения стабильной работы ускорителя необходимо обеспечить достаточно высокий вакуум в области прохождения пучка через высоковольтные зазоры ускорителя-тандема. Высокоэнергичные частицы пучка ионизуют газ, образующиеся при этом электроны и ионы ускоряются и попадают на высоковольтные электроды, вызывая вторичную эмиссию. Если давление газа ниже достаточного для образования ионизационной лавины в высоковольтном зазоре, пробой все же может происходить из-за неравномерной загрузки высоковольтного делителя. При этом паразитный ток на высоковольтные электроды «закорачивает» один или несколько высоковольтных зазоров, что приводит к увеличению напряжения на остальных зазорах и может привести к пробое изолятора. Пробой по поверхности изолятора также способствует ультрафиолетовое излучение, образующееся при взаимодействии пучка с газом.

Основными источниками газа в ускорителе являются обдирочная мишень и источник отрицательных ионов, выпускающие 0,1 – 0,2 л-торр/с водорода и 0,05 – 0,1 л-торр/с аргона. Благодаря установке дифференциальной откачки поток водорода, поступающий из источника отрицательных ионов водорода в высоковольтный зазор ускорителя снизился до  $5 \cdot 10^{-3}$  л-Торр/с, при давлении в низкоэнергетичном тракте  $\sim 10^{-3}$  Па. На первом этапе экспериментов дополнительная откачка газа обдирочной мишени внутри высоковольтного электрода не предусмотрена. Максимальное газовыделение со стен, электродов и принимающих пучок мишеней приходится на момент включения пучка, и со временем должно снижаться.

Вакуумный объем ускорителя откачивался турбомолекулярным насосом 01АВ1500 (ТМН 1500) с итоговой скоростью откачки 600 л/с, что обеспечивает давление  $5 \cdot 10^{-3}$  Па при токе пучка 1,5 мА. Расход обдирочного газа при этом составляет 0,016 л-орр/с, что соответствует обдирке более 60 % пучка до протонов.

Для увеличения расхода обдирочного газа и степени обдирки пучка, а также улучшения вакуумных условий для повышения стабильной работы ускорителя была полностью модернизирована вакуумная система. Старые насосы были заменены на новые высокоскоростные безмасляные турбомолекулярные и форвакуумные насосы. Готовится к установке новый криогенный насос с замкнутой циркуляцией гелия.

Помимо вакуумной системы модернизации подверглись диафрагмы ускорителя. Анализ транспортировки пучка, выполненный ранее, показывает, что токоосаждение на три выходных диафрагмы ускорителя-тандема может достигать 16% при транспортировке ионного пучка. Были установлены новые диафрагмы пучка, с диаметрами на 5 мм превышающими расчётную огибающую пучка. Такая замена позволяет ожидать, что максимальное значение ускоряемого тока увеличится с 2,5 мА до 3 мА. Первый же эксперимент по транспортировке ионного пучка после модернизации показал значение полученного тока на выходе ускорителя 3,2 мА (Рис. 9.1.8).

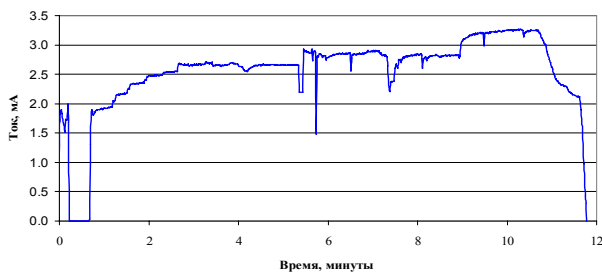


Рис. 9.1.8. Транспортируемый ток после модернизации установки.

### 9.1.6. Результаты и перспективы.

Проведенные исследования позволили измерить спектр, интенсивность и пространственное распределение нейтронного потока, генерируемого на ускорительном источнике эпитепловых нейтронов. Показано, что при выполнении экспериментов по облучению клеточных препаратов, располагающихся на дистанции 2 см от нижней границы мишенного узла, мощность дозы нейтронного излучения может составлять 20 Зв/ч @ 1 мА.

Обнаружен новый эффект: влияние перезарядного газа на работу ускорителя-тандема, ограничивающее дальнейшее увеличение тока ускоряемого пучка. Предложены технические решения для его преодоления.

Результаты проделанной исследовательской работы позволили оформить заявки на два патента и ноу-хау.

Выполненная модернизация установки позволила продвинуться в область более высоких ускоряемых токов при высокой надёжности работы ускорителя.

Выполнение работы осуществляется в рамках реализации научного проекта П.13.3.7 "Источник нейтронов для нейтронной терапии рака на основе электростатического ускорителя-тандема" программы фундаментальных исследований СО РАН по физике и технике ускорителей заряженных частиц. Частичная поддержка работы обеспечивается выполнением государственных контрактов № 14.518.11.7039 и 14.512.11.0105.

## 9.2. ДЕТЕКТОРЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ И ДОСМОТРА ЛЮДЕЙ

### 9.2.1. Микродозовая Цифровая Рентгенографическая Установка (МЦРУ) «Сибирь».

В течение 2013 года велась разработка детектора, работающего в режиме прямого счета квантов, и соответствующей электроники регистрации. Детектор изготавливается на основе линеек микропиксельных лавинных фотодиодов, покрытых слоем сцинтиллятора. Число сработавших ячеек в каждом фотодиоде зависит от количества света, образованного в сцинтилляторе, и, следовательно, энергии зарегистрированного кванта. Полученное энергетическое разрешение позволяет реализовать счетный режим работы и исключить собственные шумы детектора, а также разделить зарегистрированные кванты в зависимости от их энергии. Эти свойства нового детектора позволят улучшить качество рентгеновского снимка (например, путем применения взвешивающих коэффициентов), а также применить

его в денситометрии при диагностике остеопороза. Подана соответствующая заявка на получение патента «Способ получения проекционных рентгеновских снимков и установка для его осуществления».

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

В течение 2013 года в Институте, велась разработка новой версии СРК. От существующих модификаций СРК, выпускаемых в г. Орел на ЗАО «Научприбор», а также по лицензии ИЯФ в КНР предприятием Nuctech, разрабатываемая версия СРК отличается меньшими габаритами, весом и более низкой себестоимостью. Этого удалось достигнуть путем уменьшения расстояния «излучатель – детектор» с 2 м до 1,5 м, а также тем, что вместо высоковольтного генератора и медицинской итальянской рентгеновской трубки (и соединяющих их высоковольтных кабелей) в новой установке будет применен компактный и дешевый моноблок ИРИ-160/2 отечественного производства. Качество изображения будет более высоким, так как в новом источнике излучения применена трубка с неподвижным анодом.



## БИБЛИОГРАФИЯ

## Список публикаций 2013

[1] Е.А. Месяц, А.В. Снытников, К.В. Лотов. О выборе числа частиц в методе частиц-в-ячейках для моделирования задач физики плазмы. // Вычислительные технологии. - 2013. - Т.18, N6. - С.83-97.

[2] M.G. Kozlov. Multi Regge Amplitudes in non Abelian Gauge Theories. // Nuclear Physics and Engineering. - 2013, Vol.4. - P.853.

[3] A.V. Reznichenko. QCD Amplitudes with the gluon exchanges at high energies. // Nuclear Physics and Engineering. - 2013. - Vol.4, p.857.

[4] Grozin A.G. Introduction to Mathematica for physicists, Graduate texts in physics. // Springer. - 2013, 219 pages; ISBN 978-3-319-00893-6; ebook ISBN 978-3-319-00894-3.

[5] М.Н. Ачасов, К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин, А.Г. Богданчиков, А.А. Ботов, А.В. Васильев, В.Б. Голубев, Т.В. Димова, В.П. Дружинин, Д.П. Коврижин, И.А. Кооп, А.А. Король, С.В. Кошуба, А.Е. Образовский, Е.В. Пахтусова, С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, А.Г. Харламов, Ю.М. Шатунов, Л.В. Кардапольцев, А.С. Купич, К.А. Мартин, К.А. Гревцов, И.К. Сурин, К.Ю. Сквонь, Д.А. Штоль, А.Н. Скринский, Ю.А. Тихонов, Ю.В. Усов, А.Ю. Барняков, Д.Е. Беркаев, Д.Б. Шварц, Ю.А. Роговский, А.С. Касаев, А.Н. Кирпотин. Изучение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  в области энергии  $1 < \sqrt{s} < 2$  ГэВ с детектором СНД. // Ядерная физика и инжиниринг. - 2013. - Т.4. - С.837-841.

[6] А.Ю. Барняков, М.Ю. Барняков, К.И. Белобородов, В.С. Бобровников, А.Р. Бузыкаев, А.Ф. Данилюк, В.Б. Голубев, В.В. Гулевич, С.А. Кононов, Е.А. Кравченко, А.П. Онучин, К.А. Мартин, С.И. Середняков, В.М. Весенев. Система идентификации частиц на основе плотного аэрогеля для детектора СНД. // Ядерная физика и инжиниринг. - 4 (2013), 890-893.

[7] M.N. Achasov, V.M. Aulchenko, A.Yu. Barnyakov, K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, D.E. Berkaev, A.G. Bogdanchikov, A.A. Botov, T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, V.B. Golubev, K.A. Grevtsov, L.V. Kardapoltsev, A.S. Kupich, A.G. Kharlamov, D.P. Kovrizhin, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, K.A. Martin, A.E. Obrazovsky, E.V. Pakhtusova, Yu.A. Rogovskii, S.I. Serednyakov, Z.K. Silagadze, K.Yu. Skovpen, A.N. Skrinsky, I.K. Surin, Yu.A. Tikhonov, A.V. Vasiljev, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, D.A. Shtol, D.B. Shwartz, Yu.M. Usov, I.M. Zemlyansky. Results and perspectives on Baryon Form Factors from SND and CMD-3. // To be published in Intern. Journal of Modern Physics: Conference Series.

[8] M.N. Achasov, V.M. Aulchenko, A.Yu. Barnyakov, K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, D.E.

Berkaev, A.G. Bogdanchikov, A.A. Botov, T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, V.B. Golubev, K.A. Grevtsov, L.V. Kardapoltsev, A.S. Kupich, A.G. Kharlamov, D.P. Kovrizhin, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, K.A. Martin, A.E. Obrazovsky, E.V. Pakhtusova, Yu.A. Rogovskii, S.I. Serednyakov, Z.K. Silagadze, K.Yu. Skovpen, A.N. Skrinsky, I.K. Surin, Yu.A. Tikhonov, A.V. Vasiljev, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, D.A. Shtol, D.B. Shwartz, Yu.M. Usov, I.M. Zemlyansky. Hadronic cross sections measurement at SND. // To be published in Intern. Journal of Modern Physics: Conference Series.

[9] Пестриков, Д.В. Быстрые дипольные поперечные колебания ступков в накопителях. // Учеб. пособие. - Новосибирск: НГУ, 2013. - 125с.

[10] Пестриков, Д.В. Влияние пространственного заряда на дипольные колебания и флуктуации непрерывного ионного пучка. // Учеб. пособие. Новосибирск: НГУ, 2013. - 96с.

[11] Иванов И.А., Аржанников А.В., Бурдаков А.В., Бурмасов В.С., Иванцовский М.В., Кузнецов С.А., Меклер К.И., Попов С.С., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Синицкий С.Л., Скляр В.Ф., Тумм М.К.А. Генерация терагерцового излучения в пучково-плазменных экспериментах на установке ГОЛ-3. // IX Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 26 февраля - 1 марта 2013, Нижний Новгород: тез. докладов. - Н.Новгород: ИПФ РАН, 2013. - С.17-18.

[12] 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 диффрактометрия фазовых превращений при высокотемпературном синтезе в порошковых механоактивированных системах в условиях объемного воспламенения. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т. 77, N 2. - С. 140-143. (Материалы XIX Национальной конференции по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конференции "Использование синхротронного излучения").

[13] Герасимов В.В., Жижин Г.Н., Князев Б.А., Котельников И.А., Никитин А.К., Черкасский В.С. Исследование дифракции поверхностных плазмон-поляритонов на прямоугольном крае границы металл-диэлектрик в терагерцовом диапазоне. // Вестник Новосибирского Государственного Университета. - 2013. - Т.8, N 1. - С.6-15.

[14] Максимовская В.В., Федотов М.Г., Шарафутдинов М.Р. Исследование на пучках СИ ультрадисперсного серебра, полученного ударно-волновым синтезом в криогенных условиях. // Известия Российской Академии Наук. Серия

физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.126-130. - (Материалы XIX Национальной конференции по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конференции "Использование синхротронного излучения").

[15] Тен К.А., Титов В.М., Прууэл Э.Р., Лукьянчиков Л.А., Толочко Б.П., Жуланов В.В., Шехтман Л.И., Аминов Ю.А., Музыря А.К., Костицын О.В., Смирнов Е.Б. Исследование параметров детонационной волны и процессов конденсации в бензотрифуроксане синхротронными методами. // Научный вестник НГТУ. - 2013. - N1(50). - С.128.

[16] Алейник В.И., Кузнецов А.С., Сорокин И.Н., Таскаев С.Ю., Тиунов М.А., Щудло И.М. Калибровка обдирочной мишени ускорителя-гандема с вакуумной изоляцией. // Научный вестник НГТУ. - 2013. - N1(50). - С.83-92.

[17] Кузнецов С.А., Астафьев М.А., Аржанников А.В., Гельфанд А.В. Квазиоптические частотно-селективные структуры миллиметрового и терагерцового диапазонов. // IX Всерос. семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 26 февраля - 1 марта 2013, Нижний Новгород: тез. докладов. - Н.Новгород: ИПФ РАН, 2013. - С.91.

[18] Резникова Е.Ф., Гольденберг Б.Г., Кондратьев В.И., Кулипанов Г.Н., Корольков В.П., Насыров Р.К. Лига-технология для синтеза дифракционных преломляющих интраокулярных линз. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.131-135. (Мат. XIX национ. конф. по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конф. "Использование синхротронного излучения").

[19] Гольденберг Б.Г., Резникова Е.Ф., Лемзяков А.Г., Пиндюрин В.Ф. Микрочувствительный рентгено-литограф для прямого формирования глубоких LIGA-структур. // Автотметрия. - 2013. - Т.9, N1. - С.96-102.

[20] Скуридин Г.М., Чанкина О.В., Легкодымов А.А., Креймер В.К., Багинская Н.В., Куценогий К.П. Микроэлементный состав тканей облепихи крушиновидной (*Hipporhae rhamnoides L.*). // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.229-232. (Мат. XIX национ. конф. по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конф. "Использование синхротронного излучения").

[21] Федотов М.Г. Моделирование перестраиваемого спектрального рентгеновского детектора СИ с временным разделением полос. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.122-125. (Материалы XIX Национальной конференции по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конференции "Использование синхротронного излучения").

[22] Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В. Применение сканирующего рентгенофлуоресцентного микроанализа с использованием синхротронного излучения для изучения вариаций элементного состава годовых слоев в шлифах донных осадков оз.Телецкое. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.210-211. (Мат. XIX национ. конф. по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конф. "Использование синхротронного излучения").

[23] Гетманов Я. В., Винокуров Н.А., Шевченко О.А. Продольная устойчивость в ускорителе-рекуператоре с двумя ускоряющими структурами. // Научный вестник НГТУ. - 2013. - N1(50). - С.119.

[24] Тимченко Н.А., Галимов Р.М., Лидер А.М., Гольденберг Б.Г., Шмаков А.Н. Распад гидрогенных фаз в палладии и титане при облучении пучком синхротронного излучения в рентгеновской области спектра. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.181-183. (Мат. XIX национ. конф. по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конф. "Использование синхротронного излучения").

[25] Прууэл Э.Р., Тен К.А., Толочко Б.П., Мержиевский Л.А., Лукьянчиков Л.А., Аульченко В.М., Жуланов В.В., Шехтман Л.И., Титов В.М. Реализация возможностей синхротронного излучения в исследованиях детонационных процессов. // Доклады Академии Наук. - 2013. - Т.448, N1. - С.38-42.

[26] Россия в ЦЕРН: Участие научных организаций и промышленных предприятий Российской Федерации в создании Большого адронного коллайдера. - Дубна: ОИЯИ, 2013. - 160 с.

[27] Аржанников А.В., Калинин П.В., Кузнецов С.А., Синицкий С.Л., Степанов В.Д., Гинзбург Н.С., Песков Н.Ю., Сергеев А.С., Заславский В.Ю., Тумм М. Синхронная генерация мощных импульсов 4-миллиметрового излучения в двухканальном планарном МСЭ. // IX Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 26 февраля - 1 марта 2013, Нижний Новгород: тез. докладов. - Н.Новгород: ИПФ РАН, 2013. - С.57.

[28] Арбузов В.С., Горникер Э.И., Козырев Е.В., Кондаков А.А., Петров В.М., Пилан А.М., Трибендис А.Г. Система мощного высокочастотного питания ускоряющих резонаторов Новосибирского микротрона-рекуператора для ЛСЭ. Делитель большой непрерывной мощности на основе прямоугольного волновода. // Вестник НГУ. - 2013. - Т.8, N1. - С.32-43.

[29] Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В. Сканирующий рентгеноспектральный микроанализ образцов донных осадков с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.204-206. (Мат. XIX



национ. конф. по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конф. "Использование синхротронного излучения").

[30] Дарьин А.В., Калугин И.А., Максимов М.А., Третьяков Г.А., Ракшун Я.В. Сканирующий рентгено-флуоресцентный микроанализ годовых слоев в образцах донных осадков оз.Шира. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.207-209. (Мат. XIX национ. конф. по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конф. "Использование синхротронного излучения").

[31] Пальчиков Е.И., Долгих А.В., Кондратьев В.И., Матросов А.Д. Спектральная цифровая рентгеновская диагностика взрывных процессов на основе imagerplate-детекторов разделенных поглотителем. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.118-121. (Мат. XIX национ. конф. по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конф. "Использование синхротронного излучения").

[32] Захаров Ю.А., Пугачев В.М., Кривенцов В.В., Попова А.Н., Толочко Б.П., Богомяков А.С., Додонов В.Г., Карпушкина Ю.В. Структура наноразмерных биметаллов Fe-Co и Fe-Ni. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.164-167. (Мат. XIX национ. конф. по использованию синхротронного излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конф. "Использование синхротронного излучения").

[33] Аржанников, А.В. Тимофеев И.В. Теоретическое рассмотрение генерации излучения терагерцового диапазона в системе сильнооточный электронный пучок - плотная плазма. // IX Всерос. семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 26 февр. - 1 марта 2013, Нижний Новгород: тез. докладов. - Н.Новгород: ИПФ РАН, 2013. - С.32-33.

[34] Диканский, Н.С. Пестриков Д.В. Теория когерентных колебаний пучков в накопителях. // учеб. пособие. - Новосибирск: НГУ, 2013. - 223с.

[35] Ген К.А., Пруэлл Э.Р., Лукьянчиков Л.А., Ефремов Б.П., Беспалов Е.В., Толочко Б.П., Жуланов В.В., Шехтман Л.И. Ударное сжатие наноструктурных пористых материалов. // Научный вестник НГТУ. - 2013. - N1(50). - С.139.

[36] Эдуард Павлович Кругляков (22.10.1934-06.11.2012). Библиографическая справка. // Вестник Новосибирского Государственного Университета. - 2013. - Т.8, N2. - С.130-131.

[37] Косов А.В., Шеромов М.А. Экспериментальное исследование пространственного положения пучков СИ в каналах N13 и N7 накопителя ВЭПП-4М. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, N2. - С.110-112. (Мат. XIX национ. конф. по использованию синхротронного

излучения "СИ-2012" и Всерос. молодежной конф. "Использование синхротронного излучения").

[38] Мешков И.Н., Чириков Б.В. Электромагнитное поле. Ч.1. Электричество и магнетизм. - 2-е изд., испр. и доп. - М.; Ижевск: НИЦ Регуляр. и хаотич. динамика, 2013. - 544с.

[39] Мешков И.Н., Чириков Б.В. Электромагнитное поле. Ч.2. Электромагнитные волны и оптика. // 2-е изд., испр. и доп. - М.: Ижевск: НИЦ Регуляр. и хаотич. динамика, 2013. - 416с.

[40] Kotelnikov I.A., Gerasimov V.V., Knyazev B.A. Diffraction of a surface wave on a conducting rectangular wedge. // Physical Review A. - 2013. - Т.87, N2. - P.023828-1-11.

[41] Kulipanov G.N., Getmanov Ya.V., Shevchenko O.A., Skrinsky A.N., Tribendis A.G., Volkov V.N., Vinokurov N.A. Multiturn ERL X-ray source (MARS) feasibility study. // ERL 2011: The 50th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs, KEK, Tsukuba, Japan, Oct. 16 - 21, 2011. - Tsukuba: ICFA&JAEA, 2013. - P.60-63.

[42] Demidova E.V., Goryachkovskaya T.N., Malup T.K., Bannikova S.V., Semenov A.I., Vinokurov N.A., Kolchanov N.A., Popik V.M., Peltek S.E. Studying the non-thermal effects of terahertz radiation on E. coli/pKatG-GFP biosensor cells. // Bioelectromagnetics. - 2013. - Vol.34, N1. - P.15-21; P.345-350.

[43] Наука и предельная реальность. Квантовая теория, космология и сложность. - М.-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2013. - 642с. - (Силагадзе З.К. отредактировал главы 18, 19, 23, 24, написал примеч. и составил списки доп. лит-ры к этим главам; Хрипович И.Б. отредактировал главу 22).

[44] Крайнева И.А., Михайлов М.Ю., Михайлова Т.Ю., Черкасская З.А. Юрий Борисович Румер. Физика, XX век. // Новосибирск: Изд-во "АРТА", 2013. - 592с.

[45] Беляев, Спартак Тимофеевич. Моя профессия - теоретическая физика. // Москва: НИЦ Курчатовский институт, 2013. - 188с.: ил.

[46] Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Kotelnikov I.A., Nikitin A.K., Cherkassky V.S., Kulipanov G.N., Zhizhin G.N. Surface plasmon polaritons launched using a terahertz free-electron laser: propagation along a gold-ZnS-air interface and decoupling to free waves at the surface edge. // Journal Optical Society of America B. - 2013. - Vol.30, №8. - P.2182-2190.

[47] Иоффе Б. Л., Липатов Л.Н., Фадин В.С. Квантовая хромодинамика. Пертурбативные и непертурбативные аспекты. Книга 2. // Москва: ЦСПиМ, 2013. - 346с.

[48] Скуридин Г.М., Чанкина О.В., Легкодымов А.А., Багинская Н.В., Креймер В.К., Куценогий К.П. Элементный состав и интенсивность накопления

химических элементов плодами облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.). // Химия в интересах устойчивого развития. - 2013. - Т.21. № 5. - С.525-532.

[49] Бондарь А.Е., Кооп И.А., Кулипанов Г.Н., Левичев Е.Б., Пархомчук В.В., Переведенцев Е.А., Середняков С.И., Скринский А.Н., Тумайкин Г.М., Фадин В.С., Хазин Б.И., Хриплович И.Б. Юрий Михайлович Шатунов (к 70-летию со дня рождения). // Успехи физических наук. - 2013. - Т.183, №9. - С.1007-1008. (Physics - Uspekhi. - 2013. - V.56, №9. - P. 951-952).

[50] Диканский Н.С. Интеграция науки, образования и производства - магистральный путь развития России. // О времени и о себе. ФФ НГУ 1963-1968гг. - Новосибирск: РИЦ НГУ, 2013. - С.63-70.

[51] Бондарь А.Е. Нам есть чем гордиться. // О времени и о себе. ФФ НГУ 1963-1968гг. - Новосибирск: РИЦ НГУ, 2013. - С.94-99.

[52] Астрелин В.Т. А здесь лягушка прыгает в воду. // О времени и о себе. ФФ НГУ 1963-1968гг. - Новосибирск: РИЦ НГУ, 2013. - С.178-181.

[53] Середняков С.И. Начало развития НГУ задержалось на десятилетия. // О времени и о себе. ФФ НГУ 1963-1968гг. - 2013. - С. 455-456.

[54] Zhiron O.V., Shepelyansky D.L. Thermolectricity of Wigner crystal in a periodic potential. // EPL. - 2013. - Vol.103, №6. - P.68008.

[55] Sushkov O.P., Milstein A.I., Mori M., Maekawa S. Relativistic effects in scattering of polarized electrons. // EPL. - 2013. - Vol.103, №4. - P.47003.

[56] Bladwell S., Dmitriev V.F., Flambaum V.V., Kozlov A. Color-octet bound states, induced by Higgs mechanism. // Intern. Journal of Modern Physics A. - 2013. - Vol.28, №2. - P.1350009.

[57] Grozin A. Decoupling in QED and QCD. // Intern. Journal of Modern Physics A. - 2013. - Vol.28, №5/6. - P.1350015.

[58] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Centrality dependence of  $\pi$ , K, and p production in Pb-Pb collisions at root s(NN)=2.76 TeV. // Physical Review C. - 2013. - Vol.88, № 4. - P.044910.

[59] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Centrality determination of Pb-Pb collisions at root s(NN)=2.76 TeV with ALICE. // Physical Review C. - 2013. - Vol.88, №4. - P.044909.

[60] Yi L., Shen B., Lotov K., Ji L., Zhang X., Wang W., Zhao X., Yu Y., Xu J., Wang X., Shi Y., Zhang L., Xu T., Xu Z. Scheme for proton-driven plasma-wakefield acceleration of positively charged. // Physical Review Special Topics - Accelerators and Beams. - 2013. - Vol.16, №4. - P.071301.

[61] Lotov K.V., Lotova G.Z., Lotov V.I., Upadhyay A., Tuckmantel T., Pukhov A., Caldwell A. Natural noise and external wakefield seeding in a proton-driven plasma

accelerator. // Physical Review Special Topics - Accelerators and Beams. - 2013. - Vol.16, №4. - P.041301.

[62] Abe T., Perevedentsev E., et al. Achievements of КЕКВ. // Progress of Theoretical and Experimental Physics. - 2013. - №3. - P.03A001.

[63] Abe T., Perevedentsev E., et al. Commissioning of КЕКВ. // Progress of Theoretical and Experimental Physics. - 2013. - №3. - P.03A010.

[64] Lizunov A., Donin A., Savkin V. Note: Spectral motional Stark effect diagnostic for measurement of magnetic fields below 0.3 T. // Review of Scientific Instruments. - 2013. - Vol.84, №8. - P.086104.

[65] Vasserman I. B., Strelnikov N.O., Xu J.Z. Some aspects of achieving an ultimate accuracy during insertion device magnetic measurements by a Hall probe. // Review of Scientific Instruments. - 2013. - Vol.84, №2. - P.025004.

[66] Getmanov Ya.V., Kulipanov G.N., Shevchenko O.A., Skrinisky A.N., Tribendis A.G., Volkov V.N., Vinokurov N.A. Full spatially coherent multiturn ERL x-ray source (MARS) based on two linacs. // Journal of Physics: Conference Series. - 2013. - Vol.425. - P.04219. (11th Intern. Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2012)).

[67] Golkovski M.G., Bataev I.A., Bataev A.A., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenitseva O.G. Structure of surface layers produced by non-vacuum electron beam boriding. // Applied Surface Science. - 2013. - Vol.284. - P.472-481.

[68] Grishnyaev E.S., Polosatkin S.V. Yield determination for a titanium neutron-forming target. // Atomic Energy. - 2013. - Vol.113, №5. - P.345-350.

[69] Khatsymovsky V.M. First-order representation of the Faddeev formulation of gravity. // Classical and Quantum Gravity. - 2013. - Vol.30, №9. - P.095006.

[70] Fadin V.S. NLO BFKL kernels for the adjoint representations of the gauge group. // DIFFRACTION 2012. - Melville: AIP Conference Proc, 2013. - P.239-242. (Intern. Workshop on Diffraction in High Energy Physics (DIFFRACTION), Puerto del Carmen, SPAIN, Sept. 10-15, 2012. - (AIP Conference Proc.; Vol.1523).

[71] Prueel E.R., Ten K.A., Tolochko B.P., Merzhievsky L.A., Luk'yanchikov L.A., Aul'chenko V.M., Zhulanov V.V., Shekhtman L.I., Titov V.M. Implementation of the capability of synchrotron radiation in a study of detonation processes. // Doklady Physics. - 2013. - Vol.58, №1. - P.24-28.

[72] Erni W., Baldin E., Kotov K., Peleganchuk S., Tikhonov Yu., et al. Technical design report for the PANDA (AntiProton Annihilations at Darmstadt) Straw Tube Tracker. // European Physical Journal A. - 2013. - Vol.49, №2. - P.25.

- [73] Soldatkina E. I., Arakcheev A.S., Bagryansky P.A. Experiments in support of the Gas Dynamic Trap based facility for plasma-material interaction testing. // *Fusion Engineering and Design*. - 2013. - Vol.88, №11. - P.3084-3090.
- [74] Stankus S.V., Savchenko I.V., Agadzhanov A.Sh., Yatsuk O.S., Zhmurikov E.I. Thermophysical properties of MPG-6 graphite. // *High Temperature*. - 2013. - Vol.51, №2. - P.179-182.
- [75] Grigoriev D.N., Akhmetshin R.R., Kazanin V.F., Kuzmenko A.E., Yudin Yu.V. Upgrade of the CMD-3 BGO Endcap Calorimeter. // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. - 2013. - Vol.60, №1, pt.2. - P.259-264.
- [76] Makarov A.N., Taskaev S.Yu. Beam of monoenergetic neutrons for the calibration of a dark-matter detector. // *JETP Letters*. - 2013. - Vol.97, №12. - P.667-669.
- [77] Bychanok D.S., Shuba M.V., Kuzhir P.P., Maksimenko S.A., Kubarev V.V., Kanygin M.A., Sedelnikova O.V., Bulusheva L.G., Okotrub A.V. Anisotropic electromagnetic properties of polymer composites containing oriented multiwall carbon nanotubes in respect to terahertz polarizer applications. // *Journal of Applied Physics*. - 2013. - Vol.114, №11. - P.114304.
- [78] Veber S.L., Fedin M.V., Maryunina K.Yu., Boldyrev K.N., Sheglov M.A., Kubarev V.V., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A., Kulipanov G.N., Sagdeev R.Z., Ovcharenko V.I., Bagryanskaya E.G. Influence of intense THz radiation on spin state of photoswitchable compound Cu(hfac)(2)L-Pr. // *Journal of Physical Chemistry A*. - 2013. - Vol.117, №7. - P.1483-1491.
- [79] Getmanov Ya.V., Kulipanov G.N., Shevchenko O.A., Skrinsky A.N., Tribendis A.G., Volkov V.N., Vinokurov N.A. Full spatially coherent multiturn ERL x-ray source (MARS) based on two linacs. // 11TH Intern. Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2012), Lyon, France, July 09-13, 2012. - 2013. - P.042019. - (Journal of Physics Conference Series; Vol.425).
- [80] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., et al. Exclusive  $J/\psi$  and  $\psi(2S)$  production in pp collisions at root s=7 TeV. // *Journal of Physics G-Nuclear and Particle Physics*. - 2013. - Vol.40, №4. - P.045001.
- [81] Sadykov V., Usoltsev V., Yermeev N., Mezentseva N., Pelipenko V., Krieger T., Belyaev V., Sadovskaya E., Muzykantov V., Fedorova Yu., Lukashevich A., Ishchenko A., Salanov A., Okhlupin Yu., Uvarov N., Smorygo O., Arzhannikov A., Korobeynikov M., Thumm M.K.A. Functional nanoceramics for intermediate temperature solid oxide fuel cells and oxygen separation membranes. // *Journal of the European Ceramic Society*. - 2013. - Vol.33, №12 Special Issue. - P.2241-2248.
- [82] Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Kotelnikov I.A., Nikitin A.K., Cherkassky V.S., Kulipanov G.N., Zhizhin G.N. Surface plasmon polaritons launched using a terahertz free-electron laser: propagation along a gold-ZnS-air interface and decoupling to free waves at the surface edge. // *Journal of the Optical Society of America B - Optical Physics*. - 2013. - Vol.30, №8. - P.2182-2190.
- [83] Chesnokov E.N., Kubarev V.V., Koshlyakov P.V., Kulipanov G.N. Very long terahertz free induction decay in gaseous hydrogen bromide. // *Laser Physics Letters*. - 2013. - Vol.10, №5. - P.055701.
- [84] Golkovski M.G., Bataev I.A., Bataev A.A., Ruktuev A.A., Zhuravina T.V., Kuksanov N.K., Salimov R.A., Bataev V.A. Atmospheric electron-beam surface alloying of titanium with tantalum. // *Materials Science and Engineering A - Structural Materials Properties Microstructure and Processing*. - 2013. - Vol.578. - P.310-317.
- [85] Milstein A. I., Salnikov S.G. Kinetics of polarization in non-relativistic scattering. // *Nuclear Instruments & Methods B*. - 2013. - Vol.313. - P.64-67.
- [86] Kotelnikov I. A., Gerasimov V.V., Knyazev B.A. Diffraction of a surface wave on a conducting rectangular wedge. // *Physical Review A*. - 2013. - Vol.87, №2. - P.023828.
- [87] Zhirov O.V., Chepelianskii A.D., Chepelianskii D.L. Towards a synchronization theory of microwave-induced zero-resistance states. // *Physical Review B*. - 2013. - Vol.88, №3. - P.035410.
- [88] Kotelnikov I. A., Popov S.S., Rome M. Photon neutralizer as an example of an open billiard. // *Physical Review E*. - 2013. - Vol.87, №1. - P.013111.
- [89] Bondar A.E. Project of a Super Charm-Tau factory at the Budker Institute of Nuclear Physics in Novosibirsk. // *Physics of Atomic Nuclei*. - 2013. - Vol.76, №9. - P.1072-1085.
- [90] Anashin V.V., Aulchenko V.M., Baldin E.M., Barladyan A.K., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Baru S.E., Basok I.Yu., Bedny I.V., Beloborodova O.L., Blinov A.E., Blinov V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Vorobiov A.I., Gulevich V.V., Dneprovsky L.V., Zhilich V.N., Zhulanov V.V., Karpov G.V., Karpov S.V., Kononov S.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kudryavtsev V.N., Kuzmin A.S., Kulikov V.F., Kuper E.A., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Medvedko A.S., Muchnoi N.Yu., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Orlov I.O., Osipov A.A., Peleganchuk S.V., Pivovarov S.G., Poluektov A.O., Pospelov G.E., Prisekin V.G., Rodyakin V.A., Ruban A.A., Savinov G.A., Skovpen Yu.I., Skrinsky A.N., Smalyuk V.V., Snopkov R.G., Sokolov A.V., Sukharev A.M., Talyshev A.A., Tayursky V.A., Telnov V.I.,

- Tikhonov Yu.A., Todyshev K.Yu., Usov Yu.V., Kharlamova T.A., Shamov A.G., Shwartz B.A., Shekhtman L.I., Shusharo A.I., Yushkov A.N. The KEDR detector. // *Physics of Particles and Nuclei*. - 2013. - Vol.44, №4. - P.657-702.
- [91] Shiltsev V., Nesterenko I., Rosenfeld R. Replicating the discovery of Venus's atmosphere. // *Physics Today*. - 2013. - Vol.66, №2. - P.64-65.
- [92] Ivanov A.A., Prikhodko V.V. Gas-dynamic trap: an overview of the concept and experimental results. // *Plasma Physics and Controlled Fusion*. - 2013. - Vol.55, № 6. - P.063001.
- [93] Lotov K.V., Maslov V.I., Onishchenko I.N., Yarovaya I.P. Mechanisms of synchronization of relativistic electron bunches at wakefield excitation in plasma. // *Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерно-физические исследования*. - 2013. - №4(86). - С.73-76.
- [94] Gauzshtein V.V., Dusaev R.R., Loginov A.Yu., Nikolenko D.M., Sidorov A.A., Stibunov V.N. Negative charged pion production on a deuteron by quasi-real photons. // *Russian Physics Journal*. - 2013. - Vol.56, №8. - P.878-881.
- [95] Zabrodskiy V.V., Aruev P.N., Belik V.P., Ber B.Ya., Kazantsev D.Yu., Drozdova M.V., Zabrodskaya N.V., Lazeeva M.S., Nikolenko A.D., Sukhanov V.L., Filimonov V.V., Sherstnev E.V. Photoresponse recovery in silicon photodiodes upon VUV irradiation. // *Semiconductors*. - 2013. - Vol.47, №2. - P.213-216.
- [96] Koukarine A., Nesterenko I., Petrunin Yu., Shiltsev V. Experimental reconstruction of Lomonosov's discovery of Venus's atmosphere with antique refractors during the 2012 transit of Venus. // *Solar System Research*. - 2013. - Vol.47, №8. - P.487-490.
- [97] Bryzgunov M.I., Ivanov A.V., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Reva V.B. Efficiency improvement of an electron collector intended for electron cooling systems using a Wien filter. // *Technical Physics*. - 2013. - Vol.58, №6. - P.911-918.
- [98] Nishimura K., Dey B., Aston D., Leith D.W.G.S., Ratcliff B., Roberts D., Ruckman L., Shtol D., Varner G.S., Va'vra J.A. detailed study of FDIRC prototype with waveform digitizing electronics in cosmic ray telescope using 3D tracks. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.701. - P.115-126.
- [99] Allmendinger T., Solodov E.P., Telnov A.V., et al. Track finding efficiency in BABAR. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.704. - P. 44-59.
- [100] Va'vra J., Arnaud N., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Beigbeder C., Benettoni M., El Berni M., Borsato M., Breton D., Burmistrov L., Collazuol M., Dey B., Gargano F., Giordano F., Jawahery H., Kravchenko E.A., Kononov S.A., Lebbolo H., Leith D.W.G.S., Loparco F., Mazziotta M.N., Maalmi-Di Bello J., Nishimura K., Onuchin A.P., Posocco M., Puill V., Ratcliff B., Roberts D., Simi G., Stocchi A., Shtol D., Stroili R., Tocut V., Twedt E., Varner G.S. Progress on development of the new FDIRC PID detector. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.718. - P.541-545.
- [101] Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Barkov L.M., Bashtovoy N.S., Bondar A.E., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Grebenuk A.A., Ignatov F.V., Karpov S.V., Khazin B.I., Kovalenko O.A., Kozyrev A.N., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Mikhailov K.Yu., Pestov Yu.N., Pivovarov S.G., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryzhenenkov A.E., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Yudin Yu.V. Barrel calorimeter of the CMD-3 detector. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.732. - P. 463-465.
- [102] Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Golubev V.B., Gulevich V.V., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Martin K.A., Serednyakov S.I., Vesenev V.M. Particle identification system based on dense aerogel. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.732. - P.330-332.
- [103] Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Degenhardt C., Dorscheid R., Finogeev D.A., Frach T., Gulevich V.V., Karavicheva T.L., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Kurepin A.B., Kuyanov I.A., Muelhens O., Onuchin A.P., Ovtin I.V., Razin V.I., Reshetin A.I., Schulze R., Talyshev A.A., Usenko E.A., Zwaans B. Beam test of FARICH prototype with digital photon counter. // *Nuclear Instr. & Methods A*. - 2013. - Vol.732. - P.352-356.
- [104] Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Grebenuk A., Shemyakina E., Sokolov A., Breskin A., Thers D. First demonstration of THGEM/GAPD-matrix optical readout in a two-phase Cryogenic Avalanche Detector in Ar. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.732. - P.213-216.
- [105] Aubert B., BABAR Collab., Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Korol A.A., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Telnov V.I., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N. The BABAR detector: Upgrades, operation and performance. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.729. - P.615-701. [arXiv:1305.3560 [physics.ins-det]].
- [106] 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. Time-integrated luminosity recorded by the BABAR detector at the PEP-II e+e- collider. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.726. - P.203-213. [arXiv:1301.2703 [hep-ex]].
- [107] Polosatkin S., Belykh V., Davydenko V., Clary R., Fiksel G., Ivanov A., Kapitonov V., Liu D., Mishagin

- V., Tiunov M., Voskoboynikov R. Neutral particle analyzer for studies of fast ion population in plasma. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.720. - P.42-44.
- [108] Popov S.S., Burdakov A.V., Ivantsivskiy M.V., Kasatov A.A., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Vyacheslavov L.N. Two-pulse Thomson scattering system for measurements of fast fluctuations of electron density in multimirror trap GOL-3. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.720. - P.39-41.
- [109] Sulyaev Yu.S., Puryga E.A., Khilchenko A.D., Kvashnin A.N., Polosatkin S.V., Rovenskikh A.F., Burdakov A.V., Grishnyaev E.S. Multi-purpose fast neutron spectrum analyzer with real-time signal processing. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.720. - P.23-25.
- [110] Arnaud N., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Beigbeder C., Benettoni M., El Berni M., Breton D., Burmistrov L., Collazuol G., Dey B., Gargano F., Giordano F., Jawahery H., Kravchenko E.A., Kononov S.A., Lebbolo H., Leith D.W.G.S., Loparco F., Mazziotta M.N., Maalmi-Di Bello J., Nishimura K., Onuchin A.P., Posocco M., Puill V., Ratcliff B., Roberts D., Simi G., Stocchi A., Shtol D., Stroili R., Tocut V., Twedt E., Varner G.S., Va'vra J. A particle identification detector for the forward region of the Super B experiment. // *Nuclear Instr. & Meth. A*. - 2013. - Vol.718. - P.557-559.
- [111] Assiro R., Cappelli L., Cascella M., De Lorenzis L., Grancagnolo F., Ignatov F., L'Erario A., Maffezzoli A., Miccoli A., Onorato G., Perillo M., Piacentino G., Rella S., Rossetti F., Spedicato M., Tassielli G., Zavarise G. Ultra-low mass drift chambers. // *Nuclear Instruments & Meth. A*. - 2013. - Vol.718. - P.443-445.
- [112] Beigbeder C., Breton D., Arnaud N., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Benettoni M., El Berni M., Burmistrov L., Collazuol G., Delagnes E., Dey B., Gargano F., Giordano F., Jawahery H., Kravchenko E.A., Kononov S.A., Lebbolo H., Leith D.W.G.S., Leterrier L., Loparco F., Mazziotta M.N., Maalmi-Di Bello J., Nishimura K., Onuchin A.P., Posocco M., Puill V., Ratcliff B., Roberts D., Rouet S., Simi G., Stocchi A., Shtol D., Stroili R., Tocut V., Twedt E., Varner G.S., Va'vra J. Front-end electronics for the SuperB charged particle identification detectors. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.718. - P.186-188.
- [113] Gargano F., Arnaud N., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Beigbeder C., Benettoni M., El Berni M., Breton D., Burmistrov L., Collazuol G., Dey B., Giordano F., Jawahery H., Kravchenko E., Kononov S.A., Lebbolo H., Leith D.W.G.S., Loparco F., Mazziotta M.N., Maalmi-Di Bello J., Nishimura K., Onuchin A.P., Posocco M., Puill V., Ratcliff B., Roberts D., Simi G., Stocchi A., Shtol D., Stroili R., Tocut V., Twedt E., Varner G.S., Va'vra J. Study of H-8500 MaPMT for the FDIRC detector at Super B. // *Nuclear Instruments & Methods A*. - 2013. - Vol.718. - P.563-565.
- [114] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Dynamics of isolated-photon plus jet production in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // *Nuclear Physics B*. - 2013. - Vol.875, №3. - P.483-535.
- [115] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of  $B_s^0 \rightarrow \chi(c1) \phi$  decay and study of  $B^0 \rightarrow \chi Kc1, K_2^{*(0)}$  decays. // *Nuclear Physics B*. - 2013. - Vol.874, № 3. - P. 663-678.
- [116] Fadin V.S., Fiore R., Lipatov L.N., Papa A. Mobius invariant BFKL equation for the adjoint representation in N=4 SUSY. // *Nuclear Physics B*. - 2013. - Vol.874, №1. - P.230-242.
- [117] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the effective  $B_s^0 \rightarrow J/\psi K_S^{(0)}$  lifetime. // *Nuclear Physics B*. - 2013. - Vol.873, №2. - P.275-292.
- [118] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observations of  $B_s^{(0)} \rightarrow \psi(2S) \eta$  and  $B_s^0 \rightarrow \psi(2S) \pi^+ \pi^-$  decays. // *Nuclear Physics B*. - 2013. - Vol.871, №3. - P.403-419.
- [119] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Prompt charm production in pp collisions at root s=7 TeV. // *Nuclear Physics B*. - 2013. - Vol.871, №1. - P.1-20.
- [120] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Evidence for the decay  $B^0 \rightarrow J/\psi \omega$  and measurement of the relative branching fractions of  $B_s^0$  meson decays to  $J/\psi \eta$  and to  $J/\psi \eta'$ . // *Nuclear Physics B*. - 2013. - Vol.867, №3. - P.547-566.
- [121] Bartelt J., Fadin V.S., Lipatov L.N., Vacca G.P. NLO corrections to the kernel of the BKP-equations. // *Nuclear Physics B*. - 2013. - Vol.867, №3. - P.827-854.
- [122] Skovorodin, D. I., Zaytsev K.V., Beklemishev A.D. Global sound modes in mirror traps with anisotropic pressure. // *Physics of Plasmas*. - 2013. - Vol.20, №10. - P.102123.
- [123] Postupaev V.V., Burdakov A.V., Ivanov I.A., Sklyarov V.F., Arzhannikov A.V., Gavrilenko D.Ye., Kandaurov I.V., Kasatov A.A., Kurkuchekov V.V., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Rovenskikh A.F., Sudnikov A.V., Sulyaev Yu.S., Trunev Yu.A., Vyacheslavov L.N. Temporal structure of double plasma frequency emission of thin beam-heated plasma. // *Physics of Plasmas*. - 2013. - Vol.20, №9. - P.092304. [<http://dx.doi.org/10.1063/1.4821608>].

- [124] Timofeev I.V., Annenkov V.V. Exact kinetic theory for the instability of an electron beam in a hot magnetized plasma. // *Physics of Plasmas*. - 2013. - Vol.20, №9. - P.092123.
- [125] Lotov K.V. Excitation of two-dimensional plasma wakefields by trains of equidistant particle bunches. // *Physics of Plasmas*. - 2013. - Vol.20, №8. - P.083119.
- [126] 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., Sarff J.S., Waksman J., Belykh V., Davydenko V.I., Ivanov A.A., Polosatkin S.V., Tsidulko Yu.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. // *Physics of Plasmas*. - 2013. - Vol.20, №5. - P.056102. [<http://dx.doi.org/10.1063/1.4801749> (8 pages)].
- [127] Lotov K.V., Pukhov A., Caldwell A. Effect of plasma inhomogeneity on plasma wakefield acceleration driven by long bunches. // *Physics of Plasmas*. - 2013. - Vol.20, №1. - P.013102.
- [128] Timofeev I.V. Modulational instability of a Langmuir wave in plasmas with energetic tails of superthermal electrons. // *Physics of Plasmas*. - 2013. - Vol.20, №1. - P. 012115.
- [129] Abbas E., ALICE Collab., Pestov Yu, Performance of the ALICE VZERO system. // *Journal of Instrumentation*. - 2013. - Vol.8. - P.P10016.
- [130] 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., Talyshhev A., Tikhonov Y.A. Characterisation and mitigation of beam-induced backgrounds observed in the ATLAS detector during the 2011 proton-proton run. // *Journal of Instrumentation*. - 2013. - Vol.8. - P.P07004.
- [131] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshhev A., Tikhonov Yu.A. Triggers for displaced decays of long-lived neutral particles in the ATLAS detector. // *Journal of Instrumentation*. - 2013. - Vol.8. - P.P07015.
- [132] Akimov D.Yu., Akindinov A.V., Alexandrov I.S., Belov V.A., Bolozdynya A.I., Burenkov A.A., Buzulutskov A.F., Danilov M.V., Efremenko Yu.V., Kirsanov M.A., Kovalenko A.G., Stekhanov V.N. Two-phase xenon emission detector with electron multiplier and optical readout by multipixel avalanche Geiger photodiodes. // *Journal of Instrumentation*. - 2013. - Vol.8. - P.P05017.
- [133] Polosatkin S. Effect of sublevel population mixing on the interpretation of doppler-shift spectroscopy measurements of neutral beam content. // *Journal of Instrumentation*. - 2013. - Vol.8. - P.P05007. [<http://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/8/05/P05007>].
- [134] Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Grebenuk A., Shemyakina E., Sokolov A., Akimov D., Breskin A., Thers D. Two-phase Cryogenic Avalanche Detectors with THGEM and hybrid THGEM/GEM multipliers operated in Ar and Ar+N-2. // *Journal of Instrumentation*. - 2013. - Vol.8. - P.P02008.
- [135] Logachev P.V., Kuznetsov G.I., Korepanov A.A., Akimov A.V., Shiyankov S.V., Pavlov O.A., Starostenko D.A., Fat'kin G.A. LIU-2 linear induction accelerator. // *Instruments and Experimental Techniques*. - 2013. - Vol.56, №6. - P.672-679.
- [136] Aleinik V.I., Ivanov A.A., Kuznetsov A.S., Sorokin I.N., Taskaev S.Yu. Dark currents of a tandem accelerator with vacuum insulation. // *Instruments and Experimental Techniques*. - 2013. - Vol.56, №5. - P.497-505.
- [137] Bryzgunov M.I., Ivanov A.V., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Reva V.B. A high-efficiency collector for a high-voltage electron cooler. // *Instruments and Experimental Techniques*. - 2013. - Vol.56, №3. - P.256-264.
- [138] Bosch H.-S., Davydenko V.I., Ivanov A., Shikhovtsev I.V., et al. Technical challenges in the construction of the steady-state stellarator Wendelstein 7-X. // *Nuclear Fusion*. - 2013. - Vol.53, №12. - P.126001.
- [139] Kaneko O., Vyacheslavov L., et al. Extension of operation regimes and investigation of three-dimensional currentless plasmas in the Large Helical Device. // *Nuclear Fusion*. - 2013. - Vol.53, № 10. - P.104015.
- [140] Sarff J.S., Belykh V., Davydenko V.I., Deichuli P., Ivanov A.A., Polosatkin S., Stupishin N.V., et al. Overview of results from the MST reversed field pinch experiment. // *Nuclear Fusion*. - 2013. - Vol.53, №10 Special Issue. - P.104017.
- [141] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Measurement of the integrated luminosities of the data taken by BESIII at root s=3.650 and 3.773 GeV. // *Chinese Physics C*. - 2013. - Vol.37, № 12. - P.123001.
- [142] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu. Determination of the number of psi ' events at BESIII. // *Chinese Physics C*. - 2013. - Vol.37, №6. - P.063001.
- [143] Meng L.J., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., Parkhomchuk V.V., et al. Research on the detuning system of a cooling electron beam for the dielectronic recombination experiment at CSRm. // *Chinese Physics C*. - 2013. - Vol.37, №1. - P.017004.

- [144] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Orlov I.O., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A.S. Measurements of top quark pair relative differential cross-sections with ATLAS in pp collisions at root s=7 TeV. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №1. - P.2261.
- [145] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I.O., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A. Search for pair-produced massive coloured scalars in four-jet final states with the ATLAS detector in proton-proton collisions at root s=7 TeV. // European Physics Journal C. - 2013. - Vol.73, №1. - P.2263.
- [146] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Orlov I.O., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the flavour composition of dijet events in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // European Physics Journal C. - 2013. - Vol.73, №2. - P.2301.
- [147] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A. Multi-channel search for squarks and gluinos in root s=7 TeV pp collisions with the ATLAS detector at the LHC. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №3. - P.2362.
- [148] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I.O., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the tt-bar production cross section in the tau plus jets channel using the ATLAS detector. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №3. - P.2328.
- [149] Aad G., ATLAS Collab., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I.O., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A.S. Jet energy measurement with the ATLAS detector in proton-proton collisions at root s=7 TeV. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №3. - P.2304.
- [150] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Orlov I.O., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A.S. Jet energy resolution in proton-proton collisions at root s 7 TeV recorded in 2010 with the ATLAS detector. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №3. - P.2306.
- [151] Adam J., Grigoriev D.N., Ignatov F., Khazin B.I., Popov A., Yudin Yu.V., et al. The MEG detector for  $\mu^+ \rightarrow e+\gamma$  decay search. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №3. - P.2365. [e-print: arXiv:1303.2348 [physics.ins-det]].
- [152] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of k(T) splitting scales in  $W \rightarrow l \nu$  events at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №5. - P.2432.
- [153] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the forward energy flow in pp collisions at root s=7 TeV. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №5. - P.2421.
- [154] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A. Search for a light charged Higgs boson in the decay channel  $H^+ \rightarrow c(s)\text{-bar}$  in t(t)-bar events using pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №6. - P.2465.
- [155] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurements of the branching fractions of  $B^+ B_s^0 \rightarrow p(p)\text{-bar} K^{(*)}$  decays. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №6. - P.2462.
- [156] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Yu. Measurement of inelastic, single- and double-diffraction cross sections in proton-proton collisions at the LHC with ALICE. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №6. - P.2456.
- [157] Bondar A., Dolgov A., Poluektov A., Vorobiev V. Effect of direct CP violation in charm on gamma extraction from  $B^\pm B_s^0 \rightarrow DK^\pm, D \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$  Dalitz

plot analysis. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №6. - P.2476.

[158] Abbas E., ALICE Collab., Pestov Yu. Mid-rapidity anti-baryon to baryon ratios in pp collisions at root s=0.9, 2.76 and 7 TeV measured by ALICE. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №7. - P.2496.

[159] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I.O., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshhev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the inclusive jet cross-section in pp collisions at root s = 2.76 TeV and comparison to the inclusive jet cross-section at root s=7 TeV using the ATLAS detector. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №8. - P.2509.

[160] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Kolachev G.M., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Orlov I.O., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshhev A.A., Tikhonov Yu.A. Improved luminosity determination in pp collisions at root s=7 TeV using the ATLAS detector at the LHC. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, №8. - P.2518.

[161] Балдин Е.М. Проверка лептонной универсальности в распадах  $J/\psi$  -мезонов. // Ядерная физика. - 2013. - Т.76, № доп. номер. - С.98-103.

[162] Тен К.А., Пруэл Э.Р., Лукьянчиков Л.А., Толочко Б.П., Шарафутдинов М.Р., Шмаков А.Н., Аминов Ю.А., Музыря А.К., Костицын О.В., Смирнов Е.Б. Исследование "in situ" структуры ТАТБ дифракционными методами СИ. // Научный вестник НГТУ. - 2013. - № 4(53). - С. 105-112.

[163] Коробейничев О.П., Николенко А.Д., Шмаков А.Г., Герасимов И.Е., Дмитриев А.М., Якимов С.А., Князьков Д.А., Куйбида Л.В., Заверткин П.С., Ивлюшкин Д.В., Машковцев М.Р., Пиндюрин В.Ф., Солдатов А.Е. Проект станции синхротронного излучения ВУФ диапазона для диагностики пламени. // Научный вестник НГТУ. - 2013. - №4(53). - С.86-95.

[164] Логачев П.В., Кузнецов Г.И., Корепанов А.А., Акимов А.В., Шиянков С.В., Павлов О.А., Старостенко Д.А., Фатькин Г.А. Линейный индукционный ускоритель ЛИУ-2. // Приборы и техника эксперимента. - 2013. - №6. - С.42-49.

[165] Агафонов А.Н., Володкин Б.О., Волоотовский С.Г., Кавеев А.К., Князев Б.А., Кропотов Г.И., Тукмаков К.Н., Павельев В.С., Цыганкова Е.В., Цыпишка Д.И., Чопорова Ю.Ю. Кремниевая оптика для фокусировки лазерного излучения терагерцового диапазона в заданные двумерные области. // Компьютерная оптика. - 2013. - Т.37, №4. - С.464-470.

[166] Алейник В.И., Иванов А.А., Кузнецов А.С., Сорокин И.Н., Таскаев С.Ю. Темновые токи ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией. // Приборы и техника эксперимента. - 2013. - №5. - С.5-13.

[167] Барняков А.М., Иванников В.И., Левичев А.Е., Павлов В.М., Черноусов Ю.Д., Шеболаев И.В. Сверхвысокочастотный ввод антенного типа. // Приборы и техника эксперимента. - 2013. - №5. - С.72-76.

[168] Бондарь А.Е., Бузулуцков А.Ф., Долгов А.Д., Пелеганчук С.В., Снопков Р.Г., Соколов А.В., Шемякина Е.О., Шехтман Л.И. Проект двухфазного криогенного лавинного детектора для поиска темной материи и регистрации низкоэнергетических нейтрино. // Вестник Новосибирского Государственного Университета. Серия Физика. - 2013. - Т.8, №6. - С.13-26.

[169] Бондарь А.Е., Бузулуцков А.Ф., Бурдаков А.В., Гришняев Е.С., Долгов А.Д., Макаров А.Н., Полосаткин С.В., Соколов А.В., Таскаев С.Ю., Шехтман Л.И. Проект систем рассеяния нейтронов для калибровки детекторов темной материи и низкоэнергетических нейтрино. // Вестник Новосибирского Государственного Университета. Серия Физика. - 2013. - Т.8, №3. - С.27-38.

[170] Гришняев Е. С., Долгов А.Д., Полосаткин С.В. Программа для статического моделирования рассеяния нейтронов в криогенном детекторе слабозаимодействующих частиц. // Вестник Новосибирского Государственного Университета. Серия Физика. - 2013. - Т.8, №3. - С.39-45.

[171] Шехтман Л.И., Долгов А.Д. Быстродействующие координатные газовые детекторы высокого разрешения. // Вестник Новосибирского Государственного Университета. Серия Физика. - 2013. - Т.8, №3. - С.47-62.

[172] Брызгин К.А., Домаров Е.В., Корчагин А.И., Куксанов Н.К., Немытов П.И., Салимов Р.А., Фадеев С.Н. Пульсации энергии в ускорителе электронов ЭЛВ-4 для скоростной рентген-томографии. // Вестник Новосибирского Государственного Университета. Серия Физика. - 2013. - Т.8, №3. - С.63-70.

[173] Легкодимов А.А., Брянская А.В., Simon R., Альтапова В.Р., Кондратьев В.И., Машковцев М.Р., Алешина Т.Е., Малуп Т.К., Кулипанов Г.Н., Пельтек С.Е. Анализ химических элементов, ассоциированных с микробными сообществами, основанный на корреляции оптических и рентгеновских изображений. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, №9. - С.1363-1367.

[174] Дарьин А.В., Калугин И.А., Маркович Т.И., Мордвинов А.В., Овчинников Д.В., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С. Природная периодичность системы седиментации озера Телецкое (Горный Алтай) за последние 2000 лет по данным высокоразрешающего сканирующего микроанализа на пучках синхро-



тронного излучения из накопителя ВЭПП-3 (ИЯФ СО РАН). // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, №9. - С.1359-1362.

[175] Зорин А. В., Мезенцев Н.А., Цуканов В.М. Быстрое измерение деформации лайнера сверхпроводящего вигглера при переходе магнитов в нормальное состояние. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, №9. - С.1354-1358.

[176] Генцелев А.Н., Гольденберг Б.Г., Зелинский А.Г., Лемзяков А.Г., Кондратьев В.И. Рентгеношаблоны с титановой и полимерной несущими мембранами. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, №9. - С.1351-1353.

[177] Саликова Т.В. Мониторинг уровня радиации в ускорительном зале ЛСЭ. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, №9. - С.1349-1350.

[178] Васильев А.А., Пальчиков Е.И., Кубарев В.В., Чесноков Е.Н., Кошляков П.В., Долгих А.В., Красников И.Ю., Тен К.А. О работах по исследованию стационарных и нестационарных волн горения водородно-кислородной смеси на терагерцовом Новосибирском лазере на свободных электронах. // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2013. - Т.77, №9. - С.1345-1348.

[179] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of  $J/\psi$  polarization in pp collisions at root  $s=7$  TeV. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, N11. - P.2631.

[180] Abbas E., ALICE Collab., Pestov Y. Charmonium and  $e^+e^-$  pair photoproduction at mid-rapidity in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at root  $s(NN)=2.76$  TeV. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, N11. - P.2617.

[181] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of  $B_s^{(0)} \rightarrow \bar{B}_s^{(0)}$  mixing and measurement of mixing frequencies using semi-leptonic B decays. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, N12. - P.2655.

[182] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A. V., Beloborodova O. L., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A. G., Kazanin V. F., Korol A. A., Malyshev V. M., Maslennikov A. L., Maximov D. A., Peleganchuk S. V., Skovpen K. Yu., Soukharev A. M., Talyshev A. A., Tikhonov Yu. A. Measurement of jet shapes in top-quark pair events at root  $s=7$  TeV using the ATLAS detector. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol.73, N12. - P.2676.

[183] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Observation of  $\eta c$  decay into  $\Sigma^+\Sigma^-$  and  $\Xi^-\Xi^+$  final states. // Physical Review D.

- 2013. - Vol.87, N1. - P.012003. [e-Print: arXiv:1210.2831 [hep-ex]].

[184] 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. Measurement of  $D^0\bar{D}^0$ -bar mixing and CP violation in two-body  $D^0$  decays. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N1. - P.012004. [arXiv:1209.3896 [hep-ex]].

[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., Schamov A. G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y. A., Zitoun R. Search for contact interactions and large extra dimensions indilepton events from pp collisions at root  $s=7$  TeV with the ATLAS detector. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N1. - P.015010.

[186] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Search for hadronic transition  $\chi c J \rightarrow \eta c \pi^+\pi^-$  and observation of  $\chi c J \rightarrow K\bar{K}^*\pi\pi$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N1. - P.012002. [e-Print: arXiv:1208.4805 [hep-ex]].

[187] Ablikim M., Achasov M. N., Muchnoi N. Yu., Nikolaev I. B. Measurements of  $\psi' \rightarrow \bar{p} K+\Sigma^0$  and  $\chi c J \rightarrow \bar{p} K+\Lambda$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N1. - P.012007. [[e-Print: arXiv:1211.5631 [hep-ex]].

[188] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V. B., Bogdanchikov A., Kazanin V. A., Kolachev G. M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S. V., Schamov A. G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y. A. Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using  $4.7 \text{ fb}^{-1}$  of root  $s=7$  TeV proton-proton collision data. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N1. - P.012008.

[189] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M. N., Guan Y.H., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Search for  $\eta$  and  $\eta'$  invisible decays in  $J/\psi \rightarrow \varphi\eta$  and  $\varphi\eta'$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N1. - P.012009. [e-Print: arXiv:1209.2469 [hep-ex]].

[190] Tamponi U., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Krokovny P., Kuzmin A., Shwartz B., Zhilich V., Zhulanov V. Study of the hadronic transitions  $Y(2S) \rightarrow (\eta, \pi^0)Y(1S)$  at Belle. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N 1. - P.011104.

[191] 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., Schamov A. G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y. A., Zaytsev A. Measurement of the  $\Lambda^{(0)}$  lifetime and

mass in the ATLAS experiment. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N3. - P.032002.

[192] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Evidence for  $\eta c \rightarrow \gamma\gamma$  and measurement of  $J/\psi \rightarrow 3\gamma$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N3. - P.032003. [e-Print: arXiv:1208.1461 [hep-ex]].

[193] Esen S., Belle Collab., Eidelman S., Krokovny P., Shwartz B., Zhilich V., Zhulanov V. Precise measurement of the branching fractions for  $B_s^0 \rightarrow D_s^{*(+)} D_s^{*(-)}$  and first measurement of the  $D_s^{*(+)} D_s^{*(-)}$  polarization using  $e^+e^-$  collisions. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N3. - P.031101.

[194] Lees J.P., BaBbar 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. Branching fraction measurement of  $B^+ \rightarrow \omega l^+ \nu$  decays. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N3. - P.032004. [arXiv:1205.6245 [hep-ex]].

[195] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M. N., Muchnoi N. Yu., Nikolaev I. B. Measurements of baryon pair decays of chi(cJ) mesons. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N3. - P.032007. [e-Print: arXiv:1211.2283 [hep-ex]].

[196] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M. N., Muchnoi N. Yu., Nikolaev I. B. Search for  $\eta$  and  $\eta' \rightarrow \pi^+e^- \bar{\nu} e^+$  c.c. decays in  $J/\psi \rightarrow \varphi\eta$  and  $\varphi\eta'$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N3. - P.032006. [e-Print: arXiv:1211.3600 [hep-ex]].

[197] 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. Search for di-muon decays of a low-mass Higgs boson in radiative decays of the Upsilon(1S). // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N3. - P.031102.

[198] Duh Y. -T., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kuzmin A., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V. Measurements of branching fractions and direct CP asymmetries for  $B \rightarrow K \pi$ ,  $B \rightarrow \pi\pi$  and  $B \rightarrow KK$  decays. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N 3. - P.031103.

[199] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Study of the near-threshold  $\omega\varphi$  mass enhancement indoubly OZI-suppressed  $J/\psi \rightarrow \gamma\omega\varphi$  decays. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N3. - P.032008. [e-Print:arXiv:1211.5668 [hep-ex]].

[200] Ablikim M, Achasov MN, Albayrak O, Ambrose DJ, An FF, An Q, Bai JZ, Ban Y, Becker J, Bennett JV, et al. Study of the near-threshold  $\omega\varphi$  mass enhancement in doubly OZI suppressed  $J/\psi \rightarrow \gamma\omega\varphi$  decays. Phys. Rev. D87 (2013) 032008. e-Print: arXiv:1211.5668 [hep-ex]

[201] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Analysis of the resonant components in  $B^0\text{-bar} - J/\psi \pi^+\pi^-$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N5. - P.052001.

[202] 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. Search for new phenomena in events with three charged leptonsat root s=7 TeV with the ATLAS detector. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N5. - P.052002.

[203] 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. Measurement of upsilon production in 7 TeV pp collisions at ATLAS. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N5. - P.052004.

[204] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Evidence for  $\eta c(2S)$  in  $\psi(3686) \rightarrow \gamma K_S^0 K^{+/-} \pi^{+/-} \pi^+ \pi^-$ . // Physical Review D. - 2013. Vol.87, N5. - P.052005. [e-Print: arXiv:1301.1476 [hep-ex]].

[205] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M. N., Muchnoi N. Yu., Nikolaev I. B. Measurements of the branching fractions for  $J/\psi$  and  $\psi' \rightarrow \Lambda\Lambda\text{-bar} \pi^0$  and  $\Lambda\Lambda\text{-bar} \eta$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N5. - P.052007. [e-Print: arXiv:1211.4682 [hep-ex]].

[206] 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. Search for direct CP violation in singly Cabibbo-suppressed  $D^\pm \rightarrow K^+ K^- \pi^\pm$  decays. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N5. - P.052010.

[207] 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. Measurement of CP asymmetries and branching fractions in charmless two-body B-meson decays to pions and kaons. // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N5. - P.052009. [arXiv:1206.3525 [hep-ex]].

[208] Lees J.P., 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. Search for CP violation in the decays  $D^\pm \rightarrow K_S K^\pm \rightarrow K^0, D_S \rightarrow K_S K^\pm \rightarrow K^0$ , and  $D_S^\pm \rightarrow K_S^0 \pi^\pm$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.87, N5. - P.052012.

- [209] Wang X.L., Belle Collab., Aulchenko V., Eidelman S., Krokovny P., Lukin P., Usov Y., Zhilich V. Observation of  $\psi(4040)$  and  $\psi(4160)$  decay into  $\eta J/\psi$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N5. - P.051101.
- [210] 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. Observation of direct CP violation in the measurement of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa angle  $\gamma$  with  $B^\pm \rightarrow D_d^{(*)} K^{(\pm)}$  decays. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N5. - P.052015.
- [211] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Charged kaon femtoscopic correlations in pp collisions at root s=7 TeV. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N5. - P.052016.
- [212] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Amplitude analysis and branching fraction measurement of  $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi K^+K^-$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N7. - P.072004.
- [213] Liventsev D., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V. Search for heavy neutrinos at Belle. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N7. - P.071102.
- [214] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for the decay  $B_s^0 \rightarrow D^{*(-)} \pi^+ \pi^-$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N7. - P.071101.
- [215] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the decay  $B_c^{(+) } \rightarrow \psi(2S) \pi^+$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N7. - P.071103.
- [216] Oswald C., Belle Collab., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Matvienko D., Shiu J. -G., Zhilich V. Measurement of the inclusive semileptonic branching fraction  $B B_s^0 \rightarrow X \Gamma^+ \nu(l)$  at Belle. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N7. - P.072008.
- [217] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Study of  $B^0 \rightarrow D^{*(-)} \pi^+ \pi^- \pi^+$  and  $B^0 \rightarrow D^* K^{(+) } \pi^- \pi^+$  decays. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N9. - P.092001.
- [218] 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. Study of the decay  $B^0\text{-bar} \rightarrow \Lambda_c^+ p\text{-bar} \pi^+ \pi^-$  and its intermediate states. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N9. - P.092004. [arXiv:1302.0191 [hep-ex]].
- [219] 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. Study of  $e^+e^- \rightarrow pp\text{-bar}$  via initial-state radiation at BABAR. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N9. - P.092005. [arXiv:1303.0571 [hep-ex]].
- [220] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Study of  $\psi(3686) \rightarrow \omega KK^+ \pi^-$  decays. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N9. - P.092006. [e-Print: arXiv:1303.6360 [hep-ex]].
- [221] Gaur V., Belle Collab., Aulchenko V., Eidelman S., Gabyshev N., Lukin P., Matvienko D., Vorobyev V., Zhilich V. Evidence for the decay  $B^0 \rightarrow K^+ K^- \pi^0$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N9. - P.091101.
- [222] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First observations of  $\bar{B}_s^0 \rightarrow D^+ D^-$ ,  $D_s^+ D^-$  and  $D^0 \bar{D}^0$  decays. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N9. - P.092007.
- [223] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Partial wave analysis of  $J/\psi \rightarrow \gamma \eta$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N9. - P.092009. [e-Print: arXiv:1301.0053 [hep-ex]].
- [224] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M. N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Measurement of  $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ e^-$  and  $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \mu^+ \mu^-$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N 9. - P.092011. [e-Print: arXiv:1303. 7360 [hep-ex]].
- [225] 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., Schamov A. G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y. A. Measurement of  $W^+W^-$  production in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector and limits on anomalous WWZ and WW gamma couplings. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N11. - P.112001.
- [226] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M. N., Muchnoi N. Yu., Nikolaev I. B. Study of  $J/\psi \rightarrow \omega pp\text{-bar}$  at BESIII. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N11. - P.112004. [e-Print: arXiv:1303.3108 [hep-ex]].
- [227] 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., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Measurements of W gamma and Z gamma production in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector at the LHC. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N11. - P.112003.
- [228] 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. Search for  $B^0 \rightarrow K(*) \nu\bar{\nu}$ -bar  $B \rightarrow K(*) \nu\bar{\nu}$ -bar and invisible quarkonium decays. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N11. - P.112005. [arXiv:1303.7465 [hep-ex]].

[229] 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. Search for resonant diboson production in the WW/WZ – lvjj decay channels with the ATLAS detector at root s=7 TeV. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N11. - P.112006.

[230] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Search for the lepton flavor violation process  $J/\psi \rightarrow e\mu$  at BESIII. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N11. - P.112007. [[e-Print: arXiv:1304.3205 [hep-ex]].

[231] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the branching fractions of the decays  $B_s^0 \rightarrow \bar{D}^0 K^+ \pi^-$  and  $B^0 \rightarrow \bar{D}^0 K^+ \pi^-$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N 11. - P.112009.

[232] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of CP violation and the  $B_s(0)$  meson decay width difference with  $B_s^0 \rightarrow J/\psi K^+ K^-$  and  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$  decays. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N11. - P.112010.

[233] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M. N., Muchnoi N. Yu., Nikolaev I. B. Search for baryonic decays of  $\psi(3770)$  and  $\psi(4040)$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N11. - P.112011. [[e-Print: arXiv: 1305.1782 [hep-ex] ]].

[234] Lutz O., Belle Collab., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Search for  $B \rightarrow h^* \nu\bar{\nu}$ -bar with the full Belle Upsilon(4S) data sample. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N 11. - P.111103.

[235] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of  $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^+$  and  $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^{*+}$  decays. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.87, N11. - P.112012.

[236] Aad G., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soueid P., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for nonpointing photons in the diphoton and E-T(miss) final state in root s=7 TeV proton-proton collisions using the ATLAS detector. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N1. - P.012001.

[237] 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. Measurement of CP-violating asymmetries in  $B^0 \rightarrow \rho\pi^0$  decays using a time-dependent Dalitz plot analysis. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N1. - P.012003.

[238] Shen C.P., Belle Collab., Aulchenko V., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V. Measurement of exclusive Upsilon(1S) and Upsilon(2S) decays into vector-pseudoscalar final states. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N1. - P.011102.

[239] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S. V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for  $t(\bar{t})$  resonances in the lepton plus jets final state with ATLAS using  $4.7 \text{ fb}^{-1}$  of pp collisions at root s=7 TeV. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N1. - P.012004.

[240] 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., Schamov A. G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y. A. Measurement of charged-particle event shape variables in inclusive root(s)=7 TeV proton-proton interactions with the ATLAS detector. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N3. - P.032004.

[241] 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. Search for a light Higgs boson decaying to two gluons or  $ss$ -bar in the radiative decays of  $\Upsilon(1S)$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N3. - P.031701. [arXiv:1307.5306 [hep-ex]].

[242] Sibidanov A., Belle Collab., Aulchenko V., Eidelman S., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Shebalin V., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Study of exclusive  $B \rightarrow X(u)l\nu$  decays and extraction of vertical bar  $V \rightarrow ub$  vertical bar using full reconstruction tagging at the Belle experiment. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N3. - P.032005.

[243] Lees J.P., 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. Evidence of  $B^+ \rightarrow \tau^+ \nu$  decays with hadronic B tags. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N3. - P.031102.

[244] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Precision measurements of  $B[\psi(3686) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi]$  and  $B[J/\psi \rightarrow I^+ I^-]$ . // *Physical*

Review D. - 2013. - Vol.88, N3. - P.032007. [[e-Print: arXiv:1307.1189 [hep-ex]].

[245] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Partial wave analysis of  $\psi(2S) \rightarrow p \bar{p} \eta$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol. 88, N 3. - P.032010. [e-Print: arXiv:1304.1973 [hep-ex]].

[246] 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. Production of charged pions, kaons, and protons in  $e^+e^-$  annihilations into hadrons at root  $s=10.54$  GeV. // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N3. - P.032011. [arXiv:1306.2895 [hep-ex]].

[247] 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. A search for the rare decays  $B \rightarrow \pi l^+l^-$  and  $B \rightarrow \eta l^+l^-$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N3. - P.032012. [arXiv:1303.6010 [hep-ex]].

[248] 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. Precision measurement of the  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-(\gamma)$  crosssection with the initial-state radiation method at BABAR. // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N3. - P.032013. [arXiv:1306.3600 [hep-ex]].

[249] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the polarization amplitudes in  $B^0 \rightarrow J/\psi K^*(892)(0)$  decays. // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N5. - P.052002.

[250] Achasov M.N., Aulchenko V.M., Barnyakov A.Yu., Beloborodova K.I., Berdyugin A.V., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Grevtsov K.A., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Kovrizhin D.P., Koop I.A., Korol A.A., Koshuba S.V., Lysenko A.P., Martin K.A., Nesterenko N., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Perevedentsev E.A., Romanov A.L., Serednyakov S.I., Silagadze Z.K., Skovpen K.Yu., Skrinsky A.N., Surin I.K., Tikhonov Yu.A., Vasiljev A.V., Shatunov P.Yu., Shatunov Yu.M., Shtol D.A., Zemlyansky I.M. Study of  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$  in the energy range 1.05 - 2.00 GeV with the SND detector. // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, №5. - P.054013.

[251] 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. Measurement of the  $D^*(2010)^+$  natural linewidth and the  $D^*(2010)^+ - D^0$  mass difference. // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N5. - P.052003. [arXiv:1304.5657 [hep-ex]].

[252] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Studies of the decays  $B^+ \rightarrow p(p)\text{-bar } \phi^+$  and observation of  $B^+ \rightarrow \bar{\Lambda}(1520)p$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N5. - P.052015.

[253] Krokovny P., Belle Collab., Krokovny P., Bondar A., Arinstein K., Aulchenko V., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. First observation of the  $Z(b)(0)(10610)$  in a Dalitz analysis of  $Upsilon(10860) \rightarrow Upsilon(nS) \pi^0\pi^0$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N5. - P.052016.

[254] Shen C. P., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Shwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., et al. Measurement of  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0, K^*(892) \bar{K}$  and  $K^*(1430) \bar{K}$  at root  $s$  near 10.6 GeV. // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N5. - P.052019.

[255] White E., Belle Collab., Aulchenko V., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Measurement of the wrong-sign decay  $D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N5. - P.051101.

[256] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A. Search for microscopic black holes in a like-sign dimuon finalstate using large track multiplicity with the ATLAS detector. // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N7. - P.072001.

[257] Chistov R., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V. First observation of Cabibbo-suppressed  $\Xi_c^0$  decays. // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N7. - P.071103.

[258] 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. Search for a low-mass scalar Higgs boson decaying to a  $\tau$  pair in single-photon decays of  $Y(1S)$ . // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N7. - P.071102. [arXiv:1210.5669 [hep-ex]].

[259] Prim M., Belle Collab., Eidelman S., Krokovny P., Lukin P., Matvienko D., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V. Angular analysis of  $B^0 \rightarrow \phi K^*$  decays and search for CP violation at Belle. // Physical Review D. - 2013. - Vol.88, N7. - P.072004.

[260] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman

L., Vorobyev V. First observation of  $\bar{B}^0 \rightarrow J/\psi K^+K^-$  and search for  $\bar{B}^0 \rightarrow J/\psi \phi$  decays. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N7. - P.072005.

[261] 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. Measurement of the  $B^+ \rightarrow \omega l^+ \nu$  branching fraction with semileptonically tagged B mesons. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N7. - P.072006. [arXiv:1308.2589 [hep-ex]].

[262] Chilikin K., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Experimental constraints on the spin and parity of the  $Z(4430)(+)$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N7. - P.074026.

[263] Lees J.P., 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. Measurement of the  $e^+e^- \rightarrow p \bar{p}$  cross section in the energy range from 3.0 to 6.5 GeV. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N7. - P.072009. [arXiv:1308.1795 [hep-ex]].

[264] 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. Measurement of the mass of the  $D^0$  meson. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N7. - P.071104. [arXiv:1308.1151 [hep-ex]].

[265] 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. Measurement of an excess of  $\bar{B} \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$  decays and implications for charged Higgs bosons. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N7. - P.072012. [arXiv:1303.0571 [hep-ex]].

[266] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Observation of a structure at 1.84 GeV/c<sup>2</sup> in the  $3(\pi^+\pi^-)$  mass spectrum in  $J/\psi \rightarrow \gamma 3(\pi^+\pi^-)$  decays. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N9. - P.091502. [[e-Print: arXiv:1307.1189 [hep-ex]].

[267] Nayak M., Belle Collab., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Shwartz B., Zhilich V., Zhulanov V. Evidence for the suppressed decay  $B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0$ . // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N9. - P.091104.

[268] Dalseno J., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Measurement of the CP violation parameters in  $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  decays. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N9. - P.092003.

[269] Thorne F., Belle Collab., Aulchenko V., Eidelman S., Ferber T., Gabyshev N., Krokovny P., Lukin P., Matvienko D., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V. Measurement of the decays  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi(1020)$ ,  $B_s^0 \rightarrow J/\psi f(2)'(1525)$  and  $B_s^0 \rightarrow J/\psi K^+K^-$  at Belle. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N11. - P.114006.

[270] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A. V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for long-lived stopped R-hadrons decaying out of time with pp collisions using the ATLAS detector. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N11. - P.112003.

[271] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Search for  $\eta(c)(2S)h(c) \rightarrow p \bar{p}$  decays and measurements of the  $\chi(cJ) \rightarrow p \bar{p}$  branching fractions. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N11. - P.112001.

[272] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for charginos nearly mass degenerate with the lightest neutralino based on a disappearing-track signature in pp collisions at root(s)=8 TeV with the ATLAS detector. // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N11. - P.112006.

[273] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Observation of the decay  $\psi(3686) \rightarrow \Lambda \bar{\Sigma}^{(+/-)} \pi^{(-/+)} + c.c.$  // *Physical Review D*. - 2013. - Vol.88, N11. - P.112007.

[274] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Bobrovnikov V.B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A. Search for direct production of charginos and neutralinos in events with three leptons and missing transverse momentum in root s=7 TeV pp collisions with the ATLAS detector. // *Physics Letters B*. - 2013. - Vol.718, N3. - P.841-859.

[275] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V. B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for new phenomena in the WW - vertical bar v vertical bar ' v ' final state in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // *Physics Letters B*. - 2013. - Vol.718, N3. - P.860-878.

[276] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V. B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V.,

- Maslennikov A.L., Orov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for direct lepton and gaugino production in final states with two leptons and missing transverse momentum with the ATLAS detector in pp collisions at root s=7 TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.718, N3. - P.879-901.
- [277] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the  $D^{(\pm)}$  production asymmetry in 7 TeV pp collisions. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.718, N3. - P.902-909.
- [278] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Coherent  $J/\psi$  photoproduction in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at root s(NN)=2.76 TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.718, N4/5. - P.1273-1283.
- [279] 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. Search for pair production of heavy top-like quarks decaying to a high-p(T) W boson and a b quark in the lepton plus jets final state at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.718, N4/5. - P.1284-1302.
- [280] Kharkov Y.A., Sokolov V.V. Elastic enhancement factor as a quantum chaos probe. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.718, №4/5. - P.1562-1565.
- [281] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Anisotropic flow of charged hadrons, pions and (anti-) protons measured at high transverse momentum in Pb-Pb collisions at root S-NN=2.76 TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.719, N1/3. - P.18-28.
- [282] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Yu. Long-range angular correlations on the near and away side in Pb-Pb collisions at root S-NN=5.02 TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.719, №1/3. - P.29-41.
- [283] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V. B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A. Measurement of the jet radius and transverse momentum dependence of inclusive jet suppression in lead-lead collisions at root S-NN=2.76 TeV with the ATLAS detector. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.719, N 4/5. - P.220-241.
- [284] Aad G., Atlas Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. A search for high-mass resonances decaying to  $\tau^+\tau^-$  in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.719, N4/5. - P.242-260.
- [285] 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. Search for supersymmetry in events with photons, bottom quarks, and missing transverse momentum in proton-proton collisions at a centre-of-mass energy of 7 TeV with the ATLAS detector. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.719, N4/5. - P.261-279.
- [286] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V. B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S. V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y. A. Search for long-lived, heavy particles in final states with muon and multi-track displaced vertex in proton-proton collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.719, N4/5. - P.280-298.
- [287] 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., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. A search for prompt lepton-jets in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.719, N4/5. - P.299-317.
- [288] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the  $B^0 \rightarrow \bar{B}^0$  oscillation frequency  $\Delta m(d)$  with the decays  $B^0 \rightarrow D \pi^+$  and  $B^0 \rightarrow J/\psi K^*(0)$ . // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.719, N4/5. - P.318-325.
- [289] Miyazaki Y., Belle Collab., Aulchenko V., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., Zhulanov V. Search for lepton-flavor and lepton-number-violating  $\tau \rightarrow l h'$  decay modes. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.719, N4/5. - P.346-353.
- [290] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for light top squark pair production in final states with leptons and b-jets with the ATLAS detector in root s=7 TeV proton-proton collisions. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.720, N1/3. - P.13-31.
- [291] 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., Peleganchuk S.V.,

Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Measurement of angular correlations in Drell-Yan lepton pairsto probe  $Z/\gamma^*$  boson transverse momentum at root  $s=7$  TeV with the ATLAS detector. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.720, N1/3. - P.32-51.

[292] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Centrality dependence of charged particle production at large transverse momentum in Pb-Pb collisions at root  $s(NN)=2.76$  TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.720, N1/3. - P.52-62.

[293] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Searches for heavy long-lived s leptons and R-hadrons with the ATLAS detector in pp collisions at root  $s=7$  TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.720, N4/5. - P.277-308.

[294] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Measurement of electrons from beauty hadron decays in pp collisions at root  $s=7$  TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.721, N1/3. - P.13-23.

[295] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the time-dependent CP asymmetry in  $B^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$  decays. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.721, N1/3. - P.24-31.

[296] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for displaced muonic lepton jets from light Higgs boson decay in proton-proton collisions at root  $s=7$  TeV with the ATLAS detector. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.721, N1/3. - P.32-50.

[297] 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., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for single  $b^*$ -quark production with the ATLAS detector at root  $s=7$  TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.721, N4/5. - P.171-189.

[298] Dmitriev V.F., Milstein A.I. Final state Coulomb interaction and asymmetry of pair production close to threshold in  $e^+e^-$  annihilation. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.722, №1/3. - P.83-85.

[299] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Measurement of the inclusive differential jet cross section in pp collisions at root  $s=2.76$  TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.722, N4/5. - P.262-272.

[300] 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. Search for long-lived, multi-charged particles in pp collisions at root  $s=7$  TeV using the ATLAS detector. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.722, N4/5. - P. 305-323.

[301] 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., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for a heavy narrow resonance decaying to  $e\mu$ ,  $e\tau$ , or  $\mu\tau$  with the ATLAS detector in root  $s=7$  TeV pp collisions at the LHC. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.723, N1/3. - P. 15-32.

[302] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for direct CP violation in  $D^0 \rightarrow h^+h^-$  modes using semileptonic B decays. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.723, N1/3. - P.33-43.

[303] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the suppressed ADS modes  $B(+/-) \rightarrow [\pi K(+/-)(-/+)\pi^+\pi^-]$  (D)  $K(+/-)$  and  $B(+/-) \rightarrow [\pi K(+/-)(-/+)\pi^+\pi^-]$  (D)  $\pi(+/-)$ . // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.723, N1/3. - P.44-53.

[304] Akhmetshin R. R., Anisenkov A.V., Anokhin S. A., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Barkov L.M., Bashtovoy N.S., Berkaev D.E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Fedotov G.V., Gayazov S.E., Grebenuk A.A., Grigoriev D.N., Gromov E.M., Ignatov F.V., Karpov S.V., Kazanin V.F., Khazin B.I., Koop I.A., Kozyrev A.N., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lysenko A.P., Lukin P.A., Mikhailov K.Yu., Pestov Yu.N., Perevedentsev E.A., Pirogov S.A., Pivovarov S.G., Popov A.S., Popov Yu.S., Redin S.I., Rogovsky Yu.A., Romanov A.L., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenenkov A.E., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D.B., Sibidanov A.L., Shatunov P.Yu., Shatunov Yu.M., Snopkov I.G., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V., Zaytsev A.S. 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. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.723, N1/3. - P.82-89. [e-print: arXiv:1302.0053 [hep-ex]].

[305] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Charge correlations using the balance function in Pb-Pb collisions at root  $s(NN)=2.76$  TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.723, N4/5. - P.267-279.

[306] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurements of the  $\Lambda(0)(b) \rightarrow J/\psi$  Lambda decay amplitudes and the  $\Lambda(0)(b)$  polarisation in



pp collisions at root  $s=7$  TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.724, N1/3. - P.27-35.

[307] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Searches for violation of lepton flavour and baryon number in tau lepton decays at LHCb. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.724, N1/3. - P.36-45.

[308] Aaij R., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for  $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$  and  $D_s^+ \rightarrow \pi^- \mu^+ \mu^+$  decays. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.724, N4/5. - P.203-212.

[309] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for the rare decay  $D_0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ . // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.725, N1/3. - P.15-24.

[310] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the differential branching fraction of the decay  $\Lambda(0)(b) \rightarrow \Lambda \mu^+ \mu^-$ . // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.725, N1/3. - P.25-35.

[311] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Measurement with the ATLAS detector of multi-particle azimuthal correlations in p plus Pb collisions at root  $s(\text{NN})=5.02$  TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.725, N1/3. - P.60-78.

[312] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Measurement of the high-mass Drell-Yan differential cross-section in pp collisions at root  $s=7$  TeV with the ATLAS detector. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.725, N4/5. - P.223-242.

[313] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A. V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of Higgs boson production and couplings in diboson final states with the ATLAS detector at the LHC. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.726, N1/3. - P.88-119.

[314] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Evidence for the spin-0 nature of the Higgs boson using ATLAS data. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.726, N1/3. - P.120-144.

[315] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the CKM angle  $\gamma$  from a combination of  $B^{+/-} \rightarrow Dh^{+/-}$  analyses. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.726, N 1/3. - P. 151-163.

[316] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y., et al. Long-range angular correlations of  $\pi$ , K and p in p-Pb collisions at root  $s(\text{NN})=5.02$  TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.726, N1/3. - P.164-177.

[317] Adlarson P., WASA-at-COSY Collab., Bondar A., Kuzmin A., Shwartz B. Search for a dark photon in the  $\pi^0 \rightarrow e^+e^- \gamma$  decay. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.726, N1/3. - P.187-193.

[318] Solovieva E., Belle Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., et al. Evidence for  $\bar{B}_s^0 \rightarrow \Lambda_c^+ \bar{\Lambda} \pi^-$ . // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.726, N1/3. - P.206-210.

[319] Abbas E., ALICE Collab., Pestov Y. Centrality dependence of the pseudorapidity density distribution for charged particles in Pb-Pb collisions at root  $s(\text{NN})=2.76$  TeV. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.726, N4/5. - P.610-622.

[320] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Model-independent search for CP violation in  $D^0 K^- K^+ \pi^- \pi^+$  and  $D^0 \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$  decays. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.726, N4/5. - P.623-633.

[321] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Branching fraction and CP asymmetry of the decays  $B^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+$  and  $B^+ \rightarrow (K_S^0 K^+) K^0$ . // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.726, N4/5. - P.646-655.

[322] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Multiplicity dependence of the average transverse momentum in pp, p-Pb, and Pb-Pb collisions at the LHC. // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.727, N4/5. - P.371-380.

[323] Aaij R., Bondar A., Eidelman S., Krokovny R., Kudryavtsev V., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the decay  $B_s^0 \rightarrow \bar{D}^0 \phi$ . // *Physics Letters B.* - 2013. - Vol.727, N4/5. - P.403-411.

[324] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. Charge separation relative to the reaction plane in Pb-Pb collisions at root  $s(\text{NN})=2.76$  TeV. // *Physical Review Letters.* - 2013. - Vol.110, N1. - P.012301.

[325] 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., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for dark matter candidates and large extra dimensions in events with a photon and missing transverse momentum in pp collision data at root  $s=7$  TeV with the ATLAS detector. // *Physical Review Letters.* - 2013. - Vol.110, N1. - P.011802.

[326] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First Evidence for the decay  $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$  // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N 2. - P. 021801.

[327] 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., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Measurement of Z Boson Production in Pb-Pb Collisions at root s(NN)=2.76 TeV with the ATLAS detector. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N2. - P.022301.

[328] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu, Nikolaev I.B. Observation of two new  $N^*$  resonances in the decay  $\psi(3686) \rightarrow p \bar{p} \pi^0$ . // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N 2. - P. 022001. [e-Print: arXiv:1207.0223 [hep-ex]].

[329] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the CP asymmetry in  $B_s^0 \rightarrow K^*(0) \mu^+ \mu^-$  decays. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N3. - P.031801.

[330] Abelev B., ALICE Collab. Pestov Y. Pseudorapidity density of charged particles in p plus Pb collisions at root s(NN)=5.02 TeV. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N 3. - P. 032301.

[331] Vinokurov N.A. Generating high-power short terahertz electromagnetic pulses with a multifoil radiator. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N6. - P.064805.

[332] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Yu. Transverse momentum distribution and nuclear modification factor of charged particles in p plus Pb collisions at root (NN)-N-s=5.02 TeV. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N8. - P.082302.

[333] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of  $D^0 \rightarrow \bar{D}^0$  oscillations. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N10. - P.101802.

[334] Telnov V.I. Restriction on the Energy and Luminosity of  $e^+e^-$  storage rings due to beamstrahlung. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N11. - P.114801. [arXiv:1203.6563 [physics.acc-ph]].

[335] Hara K., Belle Collab., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich ., Zhulanov V. Evidence for  $B^- \rightarrow t(-)(\nu)$  over  $\bar{b}(t)$  with a hadronic tagging method using the full data sample of Belle. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N13. - P.131801.

[336] Abakumova E.V., Achasov M.N., Berkaev D.E., Kaminsky V.V., Muchnoi N.Yu., Perevedentsev E.A.,

Pyata E.E., Shatunov Yu.M. Backscattering of laser radiation on ultrarelativistic electrons in a transverse magnetic field: evidence of MeV-scale photon interference. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, №14. - P.140402. [e-Print: arXiv:1211.0103 [physics.acc-ph]].

[337] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First observation of the decay  $B^*(s_2)(5840)(0) \rightarrow B^*K(+(-))$  and studies of excited  $B_s^0$  mesons. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N15. - P.151803.

[338] Abelev B., ALICE Collab. Pestov Y. Net-Charge Fluctuations in Pb-Pb Collisions at root s(NN)=2.76 TeV. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N15. - P.152301.

[339] Aad G., ATLAS Collab. Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Observation of associated near-side and away-side long-range correlations in root S-NN=5.02 TeV proton-lead collisions with the ATLAS detector. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N18. - 182302.

[340] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the Lambda(0)(b), Xi(-)(b), and Omega(-)(b) baryon masses. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N18. - P.182001.

[341] Adam J., MEG Collab., Grigoriev D.N., Ignatov F., Khazin B.I., Khomotov N., Popov A., Yudin Yu.V. New constraint on the existence of the  $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$  decay. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N20. - P.201801 [e-print: arXiv:1303.0754 [hep-ex]].

[342] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for rare  $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$  decays. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N21. - P.211801.

[343] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Determination of the X(3872) meson quantum numbers. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N22. - P.222001.

[344] Aaij R., LHCb Collab., Affolder A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First Observation of CP violation in the decays of  $B_s^0$  mesons. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.110, N22. - P.221601.

[345] Kim B. H., Belle Collab., Aulchenko V., Eidelman S., Epifanov D., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y.,

Vorobyev V., Zhilich V. Search for an H-dibaryon with a mass near  $2m(\Delta)$  in  $Y(1S)$  and  $Y(2S)$  decays. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.110, N22. - P.222002.

[346] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First Measurement of the CP-violating phase in  $B_s^0 \rightarrow \varphi \varphi$  decays. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.110, N24. - P.241802.

[347] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Observation of a charged charmoniumlike structure in  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi$  at root  $s=4.26$  GeV. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.110, N25. - P.252001. [e-Print: arXiv:1303.5949 [hep-ex]].

[348] Liu Z. Q., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Lukin P., Matvienko D., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V. Study of  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi$  and observation of a charged charmoniumlike state at Belle. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.110, N25. - P.252002.

[349] Bhardwaj V., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Shwartz B., Usov Yu.V., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V. Evidence of a new narrow resonance decaying to  $\chi_{c1} \gamma$  in  $B \rightarrow \chi_{c1} \gamma K$ . // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N3. - P.032001.

[350] Leitgab M., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Precision measurement of charged pion and kaon differential cross sections in  $e^+e^-$  annihilation at root  $s=10.52$  GeV. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N 6. - P. 062002.

[351] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of CP violation in the phase space of  $B(+/-) K(-/+) \rightarrow \pi^+\pi^-$  and  $B(-/+) \rightarrow (KK^+K^-) \rightarrow K(-/+) \text{ decays}$ . // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N10. - P.101801.

[352] 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. Search for CP violation in  $B^0B^0$ -bar mixing using partial reconstruction of  $B^0 \rightarrow D^{*(-)} X^+ \nu$  and a kaon tag. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N10. - P.101802. arXiv:1305.1575 [hep-ex]].

[353] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the  $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$  branching fraction and search for  $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$  decays at the LHCb experiment. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N10. - P.101805.

[354] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Precision measurement of the  $\Lambda_b(0)(b)$  baryon lifetime. // *Physical review Letters*. - 2013. - Vol.111, N10. - P.102003.

[355] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y.N. Meson Elliptic flow in noncentral Pb-Pb collisions at root  $(S)(NN)=2.76$  TeV. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N10. - P.102301.

[356] 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. Measurement of the  $D^*(2010)^+$  meson width and the  $D^*(2010)(+/-) D^0$  mass difference. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N11. - P.111801. [arXiv:1304.5657 [hep-ex]].

[357] Sandilya S., Belle Collab., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Matvienko D., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V. Search for bottomonium states in exclusive radiative  $\gamma(2S)$  decays. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N11. - P.112001.

[358] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of a resonance in  $B^+ \rightarrow K^+\mu^+\mu^-$  decays at low recoil. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N11. - P.112003.

[359] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for the lepton-flavor-violating decays  $B_s^0 \rightarrow e(+/-)\mu(-/+)$  and  $B^0 \rightarrow e(+/-)\mu(-/+)$ . // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N14. - P.141801.

[360] Aaij R., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the CP asymmetry in  $B^+ \rightarrow K^+\mu^+\mu^-$  decays. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N15. - P.151801.

[361] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D. A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the azimuthal angle dependence of inclusive jet yields in Pb plus Pb collisions at root  $s(NN)=2.76$  TeV with the ATLAS detector. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N15. - P.152301.

[362] Abbas E., ALICE Collab., Pestov Y.  $J/\psi$  elliptic flow in Pb-Pb collisions at root  $s(NN)=2.76$  TeV. // *Physical Review Letters*. - 2013. - Vol.111, N16. - P.162301.

[363] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the decay  $B_c^+ \rightarrow B_s^0 \pi^+$ .

// Physical Review Letters. - 2013. - Vol.111, N18. - P.181801.

[364] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of form-factor-independent observables in the decay  $B^0 \rightarrow K^*(0) \mu^+ \mu^-$ . // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.111, N19. - P.191801.

[365] Abelev B., ALICE Collab., Pestov Y. K-S(0) and Lambda production in Pb-Pb collisions at root s(NN)=2: 76 TeV. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.111, N22. - P.222301.

[366] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A. V., Beloborodova O. L., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A. G., Kazanin V. F., Korol A. A., Malyshev V. M., Maslennikov A. L., Maximov D. A., Peleganchuk S. V., Skovpen K. Yu., Soukharev A. M., Talyshev A. A., Tikhonov Yu. A. Measurement of top quark polarization in top-antitop events from proton-proton collisions at root s=7 TeV using the ATLAS detector. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.111, N23. - P.232002.

[367] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M. N., Muchnoi N. Yu., Nikolaev I. B. Observation of a charged charmoniumlike structure  $Z_c(4020)$  and search for the  $Z_c(3900)$  in  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- h_c$ . // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.111, N24. - P.242001. [[e-Print: arXiv:1309.1896 [hep-ex]].

[368] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of  $D^0 \bar{D}^0$  mixing parameters and search for CP violation using  $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$  decays. // Physical Review Letters. - 2013. - Vol.111, N25. - P.251801.

[369] 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. Search for resonances decaying into top-quark pairs using fully hadronic decays in pp collisions with ATLAS at root s=7 TeV. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N1. - P.106.

[370] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for direct chargino production in anomaly-mediated supersymmetry breaking models based on a disappearing-track signature in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N1. - P.131.

[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., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Measurement of isolated-photon pair production in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N1. - P.086.

[372] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V. B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. ATLAS search for new phenomena in dijet mass and angular distributions using pp collisions at root s=7 TeV. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N1. - P.029.

[373] 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., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Search for the neutral Higgs bosons of the minimal supersymmetric standard model in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - №2. - P.095.

[374] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Differential branching fraction and angular analysis of the  $B(+)-K^+ \mu^+ \mu^-$  decay. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N2. - P.105.

[375] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the cross-section for  $Z \rightarrow e^+e^-$  production in pp collisions at root s=7 TeV. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N2. - P.106.

[376] Ko B. R., Belle Collab., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Zhilich V. Search for CP Violation in the Decay  $D^+ \rightarrow (K_S K^+) K^0$ . // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N2. - P.098.

[377] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First evidence for the annihilation decay mode  $B^+ \rightarrow D_s^+ \phi$ . // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N2. - P.043.

[378] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of  $J/\psi$  production in pp collisions at root s=2.76 TeV. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N2. - P.041.

[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. Search for charged Higgs bosons through the violation of lepton universality in  $t(\bar{t})$  events using pp collision data at root s=7 TeV with the ATLAS experiment. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N3. - P.076.
- [380] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of CP observables in  $B^0 \rightarrow DK^*(0)$  with  $D \rightarrow K^+K^-$ . // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N3. - P.067.
- [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. Measurement of ZZ production in pp collisions at root s=7 TeV and limits on anomalous ZZZ and ZZ gamma couplings with the ATLAS detector. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N3. - P.128.
- [382] Lee R. Marquard Peter, Smirnov Alexander V., Smirnov Vladimir A., Steinhäuser Matthias. Four-loop corrections with two closed fermion loops to fermion self energies and the lepton anomalous magnetic moment. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - №3. - P.162.
- [383] Gerasimov R.E., Grabovsky A.V. Evolution equation for 3-quark Wilson loop operator. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - №4. - P.102.
- [384] Aad G., 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., Skovpen K., Soukharev A., Tikhonov Y.A. Search for dark matter candidates and large extra dimensions in events with a jet and missing transverse momentum with the ATLAS detector. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N4. - P.075.
- [385] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the fragmentation fraction ratio  $f(s)/f(d)$  and its dependence on B meson kinematics. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N4. - P.001.
- [386] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Limits on neutral Higgs boson production in the forward region in pp collisions at root s=7 TeV. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N5. - P.132.
- [387] Aaij R., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the  $B^0 \rightarrow K^*(0) e^+e^-$  branching fraction at low dilepton mass. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N5. - P.159.
- [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. Measurement of the cross-section for W boson production in association with b-jets in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N6. - P.084.
- [389] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Production of J/psi and gamma mesons in pp collisions at root s=8 TeV. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N6. - P.064.
- [390] Aaij R., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Shekhtman L., Vorobyev V. Precision measurement of D meson mass differences. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N6. - P.065.
- [391] Aaij R., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for CP violation in  $D^+ \rightarrow \phi\pi^+$  and  $D_s^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+$  decays. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N6. - P.112.
- [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. Search for third generation scalar leptoquarks in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N6. - P.033.
- [393] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A. L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Measurement of the production cross section of jets in association with a Z boson in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N7. - P.032.
- [394] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Vorobyev V. Differential branching fraction and angular analysis of the decay  $B_s^0 \rightarrow \phi\mu^+\mu^-$ . // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N7. - P.084.
- [395] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Differential branching fraction and angular analysis of the decay  $B^0 \rightarrow K^*(0) \mu^+\mu^-$ . // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N8. - P.131.
- [396] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of B meson production cross-sections in proton-proton collisions at root s=7 TeV. // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N8. - P.117.

- [397] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Searches for  $B_s^0 \rightarrow J/\psi p \bar{p}$  and  $B^+ \rightarrow J/\psi p \bar{p} \pi^+$  decays. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N9. - P.006.
- [398] Abelev B., Pestov Y. Multiplicity dependence of two-particle azimuthal correlations in pp collisions at the LHC. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N9. - P.049.
- [399] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Performance of jet substructure techniques for large-R jets in proton-proton collisions at root s=7 TeV using the ATLAS detector. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N9. - P.076.
- [400] Grabovsky A.V. On the solution to the NLO forward BFKL equation. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - №9. - P.098.
- [401] Grabovsky A.V. Connected contribution to the kernel of the evolution equation for 3-quark Wilson loop operator. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - №9. - P.141.
- [402] Zupanc A., Belle Collab., Arinstein K., Eidelman S., Gabyshev N., Krokovny P., Kuzmin A., Lukin P., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Measurements of branching fractions of leptonic and hadronic  $D_s^+$  meson decays and extraction of the  $D_s^+$  meson decay constant. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N9. - P.139.
- [403] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Study of D-J meson decays to  $D^+ \pi^-$ ,  $D^0 \pi^+$  and  $D^{*+} \pi^-$  final states in pp collisions. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N9. - P.145.
- [404] Aaij R., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First evidence for the two-body charmless baryonic decay  $B^0 \rightarrow p \bar{p}$ . // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N10. - P.005.
- [405] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the differential cross-section of  $B^+$  meson production in pp collisions at root s=7 TeV at ATLAS. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N10. - P.042.
- [406] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the relative rate of prompt  $\chi(c_0)$ ,  $\chi(c_1)$  and  $\chi(c_2)$  production at root s=7 TeV. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N10. - P.115.
- [407] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for new phenomena in final states with large jet multiplicities and missing transverse momentum at root s=8 TeV proton-proton collisions using the ATLAS experiment. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N10. - P.130.
- [408] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Study of  $B_s^0 \rightarrow K_s^0 h^+ h^{(-)}$  decays with first observation of  $B_s^0 \rightarrow (K_s^0 K^\pm) K^0 \pi^{(-/+)}$  and  $B_s^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ . // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N10. - P.143.
- [409] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First measurement of time-dependent CP violation in  $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$  decays. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N10. - P.183.
- [410] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for direct third-generation squark pair production in final states with missing transverse momentum and two b-jets in root s=8 TeV pp collisions with the ATLAS detector. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N10. - P.189.
- [411] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Measurement of the top quark charge in pp collisions at root s=7 TeV with the ATLAS detector. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N11. - P.031.
- [412] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the decay  $\rightarrow J/\psi K (+) K (-) \pi (+)$ . // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N11. - P.094.
- [413] Aaij R., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First observation of the decay  $B\text{-s}(0) \rightarrow \phi(K)\text{overbar}^*(0)$ . // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N11. - P.092.
- [414] Lee R.N., Pomeransky A.A. Critical points and number of master integrals. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - №11. - P.165.

- [415] Khriplovich I. B. Gravitational four-fermion interaction and dynamics of the early Universe. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N11. - P.174.
- [416] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A., Beloborodova O., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A., Kazanin V.F., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A. Measurement of the distributions of event-by-event flow harmonics in lead-lead collisions at  $\sqrt{s(NN)}=2.76$  TeV with the ATLAS detector at the LHC. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N11. - P.183.
- [417] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for the doubly charmed baryon  $\Xi^+(cc)$ . // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N12. - P.090.
- [418] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for the rare decay  $K^*(0) \rightarrow \mu^+\mu^-$ . // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N1. - P.090.
- [419] Aaij R., LHCb Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. A study of the Z production cross-section in pp collisions at  $\sqrt{s}=7$  TeV using tau final states. // *Journal of High Energy Physics*. - 2013. - N1. - P.111.
- [420] Бобров А.В., Бондарь А.Е. Изучение фоновых условий для поиска распада  $\tau \rightarrow \mu\nu$  на супер-с-т фабрике. // *Вестник Новосибирского Государственного Университета. Серия Физика*. - 2013. - Т.8, №2. - С.19-35.
- [421] Макаров А.Н., Таскаев С.Ю. Пучок моно-энергетических нейтронов для калибровки детектора темной материи. // *Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики"*. - 2013. - Т.97, №12. - С.769-771.
- [422] Дарьин А.В., Ракшун Я.В. Методика выполнения измерений при определении элементного состава образцов горных пород методом рентгено-флуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3. // *Научный вестник НГТУ*. - 2013. - №2(51). - С.112-118.
- [423] Дарьин А.В., Ракшун Я.В. Методика выполнения измерений при проведении рентгенофлуоресцентного анализа с использованием рентгеновской концентрирующей оптики (поликапиллярные линзы). // *Научный вестник НГТУ*. - 2013. - №2(51). - С.119-129.
- [424] Бондарь А.Е. Проект Супер-чарм-тау-фабрики в Новосибирске. // *Ядерная физика*. - 2013. - Т.76, №9. - С.1132-1145. - (от имени Коллаборации проекта Супер-чарм-тау-фабрики).
- [425] Генцелев А.Н., Гольденберг Б.Г., Николенко А.Д., Пиндюрин В.Ф., Полетаев И.В. Установка для мягкой рентгеновской литографии на ВЭПП-4М. // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. - 2013. - №7. - С.96-102.
- [426] Пельтек С.Е., Горячковская Т.Н., Банникова С.В., Шеховцов С.В., Гольденберг Б.Г., Поташников А.К., Попик В.М. Исследование реакции свободной иммунодиффузии в каналах микрофлюидного модуля. // *Известия Российской Академии Наук. Серия физическая*. - 2013. - Т.77, №9. - С.1341-1344.
- [427] Попик В.М., Горячковская Т.Н., Куйбида Л.В., Семенов А.И., Щеглов М.А., Пельтек С.Е. Модификация времяпролетного масс-спектрометра для точного измерения масс наночастиц с применением терагерцового излучения. // *Известия Российской Академии Наук. Серия физическая*. - 2013. - Т.77, №9. - С.1337-1340.
- [428] Герасимов В.В., Жижин Г.Н., Князев Б.А., Котельников И.А., Митина Н.А., Никитин А.К. Диагностический комплекс для исследования терагерцовых поверхностей плазмон-поляритонов на Новосибирском лазере на свободных электронах. // *Известия Российской Академии Наук. Серия физическая*. - 2013. - Т.77, №9. - С.1333-1336.
- [429] Валеев Р. Г., Кривенцов В.В., Мезенцев Н.А. EXAFS-исследование перспективного полупроводникового материала  $Ga_2Se_3$ . // *Известия Российской Академии Наук. Серия физическая*. - 2013. - Т.77, №9. - С.1320-1322.
- [430] Валеев Р.Г., Кобзиев В.Ф., Кривенцов В.В., Мезенцев Н.А. Синтез и исследование структуры массивов наноструктур арсенида галлия. // *Известия Российской Академии Наук. Серия физическая*. - 2013. - Т.77, №9. - С.1323-1326.
- [431] Агафонов А.Н., Власенко М.Г., Володкин Б.О., Герасимов В.В., Кавеев А.К., Князев Б.А., Кропотов Г.И., Павельев В.С., Пальчикова И.Г., Сойфер В.А., Ступак М.Ф., Тукмаков К.Н., Цыганкова Е.В., Чопорова Ю.Ю. Дифракционные линзы для мощных пучков терагерцового излучения. // *Известия Российской Академии Наук. Серия физическая*. - 2013. - Т.77, №9. - С.1330-1332.
- [432] Аржанников А.В., Гинзбург Н.С., Заславский В.Ю., Калинин П.В., Песков Н.Ю., Сергеев А.С., Синецкий С.Л., Степанов В.Д., Тумм М. Генерация мощного узкополосного излучения 75 GHz в маэре на свободных электронах с двумерной распределенной обратной связью. // *Письма в "Журнал технической физики"*. - 2013. - Т.39, №18. - С.8-16.
- [433] Винокуров Н.А., Гетманов Я.В., Кулипанов Г.Н., Шевченко О.А. Источник рентгеновского излучения на базе многооборотного ускорителя-рекуператора. // *Научный вестник НГТУ*. - 2013. - №1(50). - С.112-118.

- [434] Гетманов Я. В., Винокуров Н.А., Шевченко О.А. Продольная устойчивость в ускорителе-рекуператоре с двумя ускоряющими структурами. // Научный вестник НГТУ. - 2013. - №1(50). - С.119-127.
- [435] Резникова Е.Ф., Кондратьев В.И., Гольденберг Б.Г. Смачиваемость ЛИГА-полимеров для микрофлюидных модулей. // Научный вестник НГТУ. - 2013. - №2(51). - С.136-143.
- [436] Ген К.А., Титов В.М., Прууэл Э.Р., Лукьянчиков Л.А., Толочко Б.П., Жуланов В.В., Шехтман Л.И., Аминов Ю.А., Музыря А.К., Костицын О.В., Смирнов Е.Б. Исследование параметров детонационной волны и процессов конденсации в бензотрифуроксане синхротронными методами. // Научный вестник НГТУ. - 2013. - №1(50). - С.128-138.
- [437] Тэн 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 наноструктурных пористых материалов. // Научный вестник НГТУ. - 2013. - №1(50). - С.139-146.
- [438] Брызгунов М.И., Иванов А.В., Панасюк В.М., Пархомчук В.В., Рева В.Б. Повышение эффективности электронного коллектора для систем электронного охлаждения при помощи фильтра Вина. // Журнал технической физики. - 2013. - Т.83, №6. - С.139-146.
- [439] Бондарь А.Е., Бузулуцков А.Ф., Долгов А.Д., Соколов А.В., Шемякина Е.О. Исследование характеристик двухфазного криогенного лавинного детектора в аргоне с оптическим считыванием на основе матрицы гейгеровских лавинных фотодиодов. // Вестник Новосибирского Государственного Университета. Серия Физика. - 2013. - Т.8, №2. - С.36-43.
- [440] Брызгунов М.И., Иванов А.В., Панасюк В.М., Пархомчук В.В., Рева В.Б. Высокоэффективный коллектор для высоковольтной установки электронного охлаждения. // Приборы и техника эксперимента. - 2013. - №3. - С.12-20.
- [441] Загубисало П.С., Паулиш А.Г., Кузнецов С.А., Аржанников А.В., Гумм М.К.А. Моделирование теплофизических процессов в визуализаторе субтерагерцового излучения, основанном на тонкопленочном конвертере из метаматериала. // Известия вузов. Радиофизика. - 2013. - Т.56, №1. - С.22-38.
- [442] Агафонов А.Н., Володкин Б.О., Кавеев А.К., Князев Б.А., Кропотов Г.И., Павельев В.С., Сойфер В.А., Тукмаков К.Н., Цыганкова Е.В., Чопорова Ю.Ю. Кремниевые дифракционные оптические элементы для мощного монохроматического терагерцового излучения. // Автотометрия. - 2013. - Т.49, №2. - С.98-105.
- [443] Rastigeev S.A., Frolov A.R., Goncharov A.D., Klyuev V.F., Konstantinov E.S., Kutnykova L.A., Parkhomchuk V.V., Petrozhitskii A.V. Accelerator mass-spectrometry SB RAS. // Problems of Atomic Science and Technology. - 2013. - № 6(88). - С.16-19.
- [444] Анашин В.В., Аульченко В.М., Балдин Е.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бару С.Е., Басок И.Ю., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Блинов В.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Бондарь А.Е., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Днепровский Л.В., Жилич В.Н., Жуланов В.В., Карпов Г.В., Карпов С.В., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Кудрявцев В.Н., Кузьмин А.С., Куликов В.Ф., Купер Э.А., Левичев Е.Б., Максимов Д.А., Малышев В.М., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мучной Н.Ю., Никитин С.А., Николаев И.Б., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Пивоваров С.Г., Полуэктов А.О., Поспелов Г.Э., Присекин В.Г., Родякин В.А., Рубан А.А., Савинов Г.А., Сковпень Ю.И., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Снопков Р.Г., Соколов А.В., Сухарев А.М., Талышев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю., Усов Ю.В., Харламова Т.А., Шапов А.Г., Шварц Б.А., Шехтман Л.И., Шушаро А.И., Юшков А.Н. Детектор КЕДР. // Физика элементарных частиц и атомного ядра. - 2013. - Т.44, №4. - С.1263-1345.
- [445] Foot R., Silagadze Z.K. Thin disk of co-rotating dwarfs: A fingerprint of dissipative (mirror) dark matter? // Physics of the Dark Universe. - 2013. - Vol.2, №3. - P.163-165.
- [446] Van Der Hoeven J., Grozin A., Gubinelli M., Lecerf G., Poulain F., Raux D. GNU TEXMACS: A scientific editing platform. // ACM Communications in Computer Algebra. - 2013. - Vol.47, № 1/2. - P. 59-61.
- [447] Lee K., Jeong Y.U., Park S.H., Jang K.H., Miginsky S.V., Gudkov B.A., Cha Y.-H., Mun J., Kim K.N., Kim H.-N., Park S.J., Han B.-H., Bae S., Kim H., Vinokurov N.A. Development of advanced radiation sources at KAERI. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2013. - Vol.77, № 2. - P. 166-168.
- [448] Е.И. Солдаткина. Газодинамическая ловушка, поперечное удержание плазмы. // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, Германия, ISBN 978-3-659-33540-2, 125с.
- [449] P.A. Bagryansky, S.P. Demin, E.D. Gospodchikov, Yu.V. Kovalenko, V. I. Malygin, S.V. Murakhtin, V.Ya. Savkin, A.G. Shalashov, O.B. Smolyakova, A.L. Solomakhin, M. Thumm, D.V. Yakovlev. ECR heating system for the Gas Dynamic Trap. // Fusion Science and Technology, May 2013. - Vol.63, №1Т. - P.40-45.
- [450] P.A. Bagryansky, K.V. Zaytsev, A.V. Anikeev, A.S. Donin, Yu.V. Kovalenko, M.S. Korzhavina, A.A. Lizunov, A.N. Lozhkina, V.V. Maximov, E.I. Pinzhenin,



- V.V. Prikhodko, E.I. Soldatkina, A.L. Solomakhin, V.Ya. Savkin, S.V. Murakhtin, A.A. Ivanov. Advances in confinement study in the gas dynamic trap experiment. // Fusion Science and Technology. - May 2013. -Vol.63, N1T. - P.253-255.
- [451] A.A. Ivanov, T.D. Akhmetov, A.D. Beklemishev, A.V. Burdakov, V.I. Davydenko, A.A. Lizunov, A.N. Lozhkina, V.V. Maximov, V.V. Mishagin, O.K. Myskin, V.V. Prikhodko, E.I. Soldatkina, V.Ya. Savkin, G.I. Shulzhenko, A.L. Solomakhin, M.A. Tiunov, Yu.A. Trunev, R.V. Voskoboinikov, K.V. Zaytsev. Auxiliary electron heating and plasma control in GDT device with electron beam: The results of initial experiments. // Fusion Science and Technology. - May 2013. - Vol.63, N1T. - P.289-291.
- [452] D.V. Yurov, S.A. Brednikhin, S.A. Frolov, S.I. Lezhnin, V.V. Prikhodko, Yu.A. Tsidulko. Recent calculation results for a fission-fusion system with gas dynamic trap neutron source. // Fusion Science and Technology. - May 2013. - Vol.63, N1T. - P.313-315.
- [453] K.V. Zaytsev, A.V. Anikeev, P.A. Bagryansky, A.S. Donin, Yu.V. Kovalenko, M.S. Korzhavina, A.A. Lizunov, A.N. Lozhkina, V.V. Maximov, E.I. Pinzhenin, V.V. Prikhodko, E.I. Soldatkina, A.L. Solomakhin, V.Ya. Savkin. Magnetic Measurements at the GDT facility. fusion science and technology. - May 2013. - Vol.63, N1T. - P.346-348.
- [454] A. Beklemishev, A. Anikeev, V. Astrelin, P. Bagryansky, A. Burdakov, V. Davydenko, D. Gavrilenko, A. Ivanov, I. Ivanov, M. Ivantsivsky, I. Kandaurov, S. Polosatkin, V. Postupaev, S. Sinitsky, A. Shoshin, I. Timofeev, Yu. Tsidulko. Novosibirsk project of Gas-dynamic Multiple-Mirror Trap. // Fusion Science and Technology. - 2013. - Vol.63, No.1T. - P.46-51.
- [455] A.D. Beklemishev et al. Novosibirsk Project of Gas-Dynamic Multiple-Mirror Trap. // Fusion Science and Technology, May 2013. - Vol.63, N1T. - P.46-51.
- [456] Голковский М.Г. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. // LAP Lambert academic publishing. - 2013. - ISBN: 978-3-65931094-2, Saarbrucken. - С.318.
- [457] Golkovski M.G., Bataev I.A., Bataev A.A., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenitseva O.G. Structure of surface layers produced by non-vacuum electron beam boriding. // Applied Surface Science. - 2013. - Vol.284. - P.472-481.
- [458] Ленивцева О.Г., Самойленко В.В., Голковский М.Г., Батаев И.А., Достовалов Р.А. Получение износостойких покрытий на титановых сплавах методом вневакуумной электронно-лучевой обработки. // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2013. - №3. - С.103-109.
- [459] Муль Д.О., Самойленко В.В., Ложкин В.С., Дробяз Е.А., Чакин И.К., Достовалов Р.А. Структура и свойства стали после вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков титана, тантала, молибдена и графита. // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2013. - №3. - С.115-120. (Материаловедение).
- [460] Куксанов Н.К., Фадеев С.Н., Когут Д.А. Повышение однородности электронно-лучевой обработки материалов ускорителями ЭЛВ. // Вестник НГУ. - февраль 2013. - Выпуск №1(20). - С.94-99.
- [461] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First observation of the decay  $B_c^+ \rightarrow J/\psi K^+$ . // Journal of High Energy Physics. - 2013. - N9. - P.075.
- [462] P.S. Zagubisalo, A.G. Paulish, S.A. Kuznetsov, A.V. Arzhannikov, M.K.A. Thumm. Simulation of the thermophysical processes in the subterahertz imager based on a thin-film metamaterial converter. // Radiophysics and Quantum Electronics. 2013. - Vol.56. - №1. - P.20-35.
- [463] Куксанов Н.К., Голубенко Ю.И., Немытов П.И., Салимов Р.А., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В., Корчагин А.И., Когут Д.А., Семенов Д.А. Высоковольтные ускорители ЭЛВ для промышленных применений (семейство ускорителей и тенденции развития). // Доклады АН ВШ РФ. - Технические Науки. - январь-июнь 2013. - №1(16). - С.94-99.
- [464] А.Н. Алешаев, В.В. Анашин, О.В. Анчугов, В.Е. Блинов, А.В. Богомягков, Д.Б. Буренков, С.П. Васичев, С.А. Глухов, Ю.М. Глуховченко, О.П. Гордеев, Г.А. Гусев, В.Н. Ерохов, К.В. Золотарёв, В.Н. Жилич, А.И. Жмака, А.Н. Журавлёв, В.В. Каминский, С.Е. Карнаев, Г.В. Карпов, В.А. Киселёв, Е.А. Кравченко, Н.С. Кремнев, Г.Н. Кулипанов, Э.А. Купер, Г.Я. Куркин, Е.Б. Левичев, А.С. Медведко, О.И. Мешков, Л.А. Мироненко, С.И. Мишнев, И.И. Морозов, Н.Ю. Мучной, В.В. Нейфельд, И.Б. Николаев, Д.Н. Николенко, И.Н. Окунев, А.П. Онучин, О.А. Павлов, В.В. Петров, П.А. Пиминов, О.А. Плотникова, А.В. Полянский, Ю.А. Пупков, Е.А. Ротов, В.К. Сандырев, В.В. Свищёв, И.К. Седяров, Е.А. Симонов, С.В. Синяткин, А.Н. Скринский, В.В. Смалюк, Е.В. Старостина, Д.П. Суханов, С.В. Тарарышкин, Ю.А. Тихонов, Д.К. Топорков, Г.М. Тумайкин, И.Ф. Утюпин, А.Д. Хильченко, В.М. Цуканов, В.П. Черепанов, А.Г. Шапов, Д.Н. Шатилов, Д.Н. Шведов, С.В. Шиянков, Е.И. Шубин, И.Н. Чуркин. Электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-4М: состояние и перспективы. // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. - Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия - 2013. - N1. - С.35-46. (Proc of ERL2013: The 53th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs 9 - 13 Sept., 2013).

- [465] В.С. Бурмасов, Д.Ю. Дубов, М.В. Иванцевский, В.Ф. Климкин, В.Ж. Мадирбаев, О.И. Мешков, А.В. Нартова, А.Р. Нестеренко, И.Н. Нестеренко, В.В. Поступаев, Е.В. Старостина, А.Т. Титов, Д.К. Топорков, Н.В. Фатеев. // *Атомная физика: Учебное пособие*: Новосиб. гос. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 440с.
- [466] В.И. Яковлев, А.Г. Погосов, С.Л. Сеницкий, А.В. Богомягков, Л.С. Брагинский, В.А. Володин, А.В. Зайцев, М.И. Захаров, П.В. Калинин, М.С. Котельникова, Д.А. Максимов, А.В. Ненашев, П.Л. Новиков, В.Б. Рева, В.Д. Степанов, Б.И. Хазин, В.С. Черкасский, О.А. Шушаков Экзаменационные и олимпиадные варианты задач по электродинамике 2007-2012. // *Учебное пособие*. - Новосибирск, Изд-во НГУ, 2013.
- [467] Буренков Д.Б., Мурзинцев П.П., Полянский А.В., Пупков Ю.А., Сердаков Л.Е. Геодезический мониторинг вертикальных деформаций тоннелей ускорительных комплексов ИЯФ СО РАН. // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. - 2013. - Т.1, № 1. - С.128-131.
- [468] M.K.A. Thumm, A.V. Arzhannikov, V.T. Astrelin, A.V. Burdakov, I.A. Ivanov, P.V. Kalinin, I.V. Kandaurov, V.V. Kurkuchekov, S.A. Kuznetsov, M.A. Makarov, K.I. Mekler, S.V. Polosatkin, S.S. Popov, V.V. Postupaev, A.F. Rovenskikh, S.L. Sinitsky, V.F. Sklyarov, V.D. Stepanov, Yu.A. Trunev, I.V. Timofeev, L.N. Vyacheslavov. Generation of High-Power Sub-THz Waves in Magnetized Turbulent Electron Beam Plasmas. // *Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*. – [DOI 10.1007/s10762-013-9969-3].
- [469] A.V. Arzhannikov, V.A. Bataev, I.A. Bataev, A.V. Burdakov, I.A. Ivanov, M.V. Ivantsivsky, K.N. Kuklin, K.I. Mekler, A.F. Rovenskikh, S.V. Polosatkin, V.V. Postupaev, S.L. Sinitsky, A.A. Shoshin. Surface modification and droplet formation of tungsten under hot plasma irradiation at the GOL-3. // *Journal of Nuclear Materials*. - 2013. - Vol.438. - P.S677-S680.
- [470] A.V. Burdakov, A.A. Ivanov, E.P. Kruglyakov, A.D. Beklemishev. Axially symmetric magnetic mirrors: history of development and future prospects. // *Fusion Science and Technology*. – 2013. - Vol.63, N1T. – P.1-7.
- [471] A.V. Burdakov, A. P. Avrorov, A.V. Arzhannikov, V.T. Astrelin, V.I. Batkin, A.D. Beklemishev, V.S. Burmasov, P.V. Bykov, G.E. Derevyankin, V.G. Ivanenko, I.A. Ivanov, M.V. Ivantsivsky, I.V. Kandaurov, A.A. Kasatov, S.A. Kuznetsov, V.V. Kurkuchekov, K.N. Kuklin, K.I. Mekler, S.V. Polosatkin, S.S. Popov, V.V. Postupaev, A.F. Rovenskikh, S.L. Sinitsky, V.D. Stepanov, A.V. Sudnikov, Yu.S. Sulyaev, I.V. Timofeev, Yu. A. Trunev, V.F. Sklyarov, N.V. Sorokina, A.A. Shoshin, and L.N. Vyacheslavov. Development of extended heating pulse operation mode at GOL-3. // *Fusion Science and Technology*. - 2013. - Vol.63, N1T. - P.29-34.
- [472] A.V. Arzhannikov, A.V. Burdakov, V.S. Burmasov, P.V. Kalinin, S.A. Kuznetsov, M.A. Makarov, I.A. Ivanov, K.I. Mekler, S.S. Popov, V.V. Postupaev, A.F. Rovenskikh, S.L. Sinitsky, V.F. Sklyarov, V.D. Stepanov, I.V. Timofeev, M.K.A. Thumm, L.N. Vyacheslavov. Experimental and theoretical investigations of high power sub-millimeter wave emission at two-stream instability of high current REB. // *Fusion Science and Technology*. – 2013. - Vol.63, N1T. – P.82-87.
- [473] S. Polosatkin, V. Astrelin, B. Bazylev, A. Beklemishev, A. Burdakov, D. Gavrilenko, A. Huber, A. Ivanov, I. Ivanov, P. Kalinin, I. Kandaurov, A. Kreter, I. Landman, V. Postupaev, S. Sinitsky, A. Shoshin, Yu. Trunev, M. Thumm, B. Unterberg. // GDMT-T: Superconducting linear device for PMI studies. // *Fusion Science and Technol.* - 2013. - Vol.63, N1T. - P.184-187.
- [474] A. Huber, A. Burdakov, M. Zlobinski, M. Wirtz, J. Linke, Ph. Mertens, V. Philipps, G. Pintsuk, B. Schweer, G. Sergienko, A. Shoshin, U. Samm, B. Unterberg. Investigation of the Impact on Tungsten of Transient Heat Loads induced by Laser Irradiation, Electron Beams and Plasma Guns. // *Fusion Science and Technology*. – 2013. - Vol.63, N1T. - P.197-200.
- [475] A.V. Sudnikov, A.V. Burdakov, D.E. Gavrilenko, I.V. Kandaurov, V.V. Kurkuchekov, K.I. Mekler, A.F. Rovenskikh, S.V. Polosatkin, V.V. Postupaev, and Yu.A. Trunev. MHD activity in GOL-3 during injection of long-pulse electron beam. // *Fusion Science and Technology*. 2013. - Vol.63, N1T. - P.250-252.
- [476] A.V. Burdakov, A.V. Arzhannikov, V.S. Burmasov, I.A. Ivanov, M.V. Ivantsivsky, I.V. Kandaurov, A.A. Kasatov, S.A. Kuznetsov, V.V. Kurkuchekov, K.N. Kuklin, K.I. Mekler, S.V. Polosatkin, S.S. Popov, V.V. Postupaev, A.F. Rovenskikh, V.F. Sklyarov, A.V. Sudnikov, M.K.A. Thumm, Yu.A. Trunev and L.N. Vyacheslavov. Microwave generation during 100 keV electron beam relaxation in GOL-3. // *Fusion Science and Technology*. – 2013. - Vol.63, N1T. - P.286-288.
- [477] V.V. Kurkuchekov, V.T. Astrelin, A.P. Avrorov, A.V. Burdakov, P.V. Bykov, V.I. Davydenko, G.E. Derevyankin, A.A. Ivanov, I.V. Kandaurov, A.F. Rovenskikh, Yu.A. Trunev and V.A. Yarvoy. Novel injector of intense long pulse electron beam for linear plasma devices. // *Fusion Science and Technology*. – 2013. - Vol.63, N1T. - P.292-294.
- [478] В.Т. Астрелин. Особенности решения задач плазменной эмиссионной электроники в пакете прикладных программ POISSON-2. // *Успехи прикладной физики*. - 2013/ - Том 1, №5. С.571-573.
- [479] В.Т. Астрелин, И.В. Кандауров, В.М. Свешников. Численное моделирование транспортировки и сжатия электронного пучка сходящимся магнитным полем при его инжекции в много-

пробочную ловушку ГОЛ-3. // Успехи прикладной физики. - 2013. - Том 1, №5. - С.574-579.

[480] О.Н. Алякринский, С.Е. Бару, Н.С. Диканский, А.А. Кочеев, В.В. Леонов, В.В. Поросев. Многоканальная газовая ионизационная камера. - Заявка на патент на изобретение N 2013109327. Дата поступления 01.03.2013.

[481] Старостенко Д.А., Логачев П.В., Акимов А.В., Корепанов А.А., Бак П.А. и др. Результаты работы ЛИУ-2 в рентгенографическом режиме. // Письма в ЭЧАЯ, декабрь 2013 сдана в редакцию.

[482] Черноусов Ю.Д., Иванников В.И., Шеболаев И.В., Левичев А.Е., Павлов В.М. Ускоряющая структура с параллельной связью. - Патент на изобретение, No RU2472244C1, Б.И. 10.01.2013, No1.

[483] Барняков А.М., Иванников В. И., Левичев А.Е., Павлов В.М., Черноусов Ю. Д., Шеболаев И. В. СВЧ-ввод антенного типа. - Патент на изобретение, № RU2479896C1, Б.И. 20.04.2013, №11.

[484] Kuno Y., Grigoriev D.N., Ignatov F., Khazin B.I., Khomotov N., Popov A., Yudin Yu.V., et al. A search for muon-to-electron conversion at J-PARC: the COMET experiment. // Prog. Theor. Exp. Phys. - 2013. - Vol.022C01. - P.1-43.

[485] L.I. Shekhtman, V.M. Aulchenko, V.S. Bobrovnikov, A.E. Bondar, A.D. Dolgov, G.V. Fedotov, V.N. Kudryavtsev, D.M. Nikolenko, I.A. Rachek, V.N. Zhilich and V.V. Zhulanov. // Journal of Instrumentation. - 2013. - N8. - C12035.

[486] Беркаев Д.Е., Борисов А.А., Гусев Г.А., Жаринов Ю.М., Землянский И.М., Кирпотин А.Н., Кооп И.А., Кузьминых В.С., Лысенко А.П., Нестеренко И.Н., Отбоев А.В., Павлов О.А., Переведенцев Е.А., Роговский Ю.А., Романов А.Л., Скринский А.Н., Шатунов П.Ю., Шатунов Ю.М., Шварц Д.Б. Статус электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-2000. // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. - 2013. - №2(21).

[487] K.Yu. Todyshev, Anashin, V.M., V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.Yu. Basok, A.M. Batrakov, O.L. Rezanova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzzykaev, S.I. Eidelman, D.N. Grigoriev, V.R. Groshev, 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. Kolmogorov, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.N. Kudryavtsev, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E. B. Levichev, D. A. Maksimov, V. M. Malyshev, A.L. Maslennikov, 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, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev, V.V. Results of measurement of  $\psi(3770)$  parameters at KEDR/VEPP-4M. // Yadernaya Fizika. - 2013. - Vol.76. - P.92-97.

[488] 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. // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. - 2013. - №1(20). - С.47-55.

[489] А.Г. Башкирцев, А.А. Иванов, Д.А. Касатов, А.С. Кузнецов, И.Н. Сорокин, С.Ю. Таскаев, В.Я. Чудаев. Рентгеновское излучение высоковольтных элементов ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией. // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. - 2013. - №1(20). - С.56-62.

[490] В.В. Каныгин, С.Ю. Таскаев. Система формирования ортогонального пучка нейтронов. // Заявка на патент. Регистрационный номер 2013105995 от 12.02.2013.

[491] С.Ю. Таскаев. Газовая обдирочная мишень. // Заявка на патент. Регистрационный номер 2013140568 от 02.09.2013.

[492] А.Н. Макаров и С.Ю. Таскаев. Способ определения соотношения сигнал/шум во время измерения энергетического спектра нейтронов времяпролетным методом. // Ноу-хау (НГУ), №19 от 16.12.2013.

[493] Дейчули П.П., Белов В.П., Донин А.С., Абдрашитов А.Г., Ступишин Н.В. Импульсная плазменная пушка для магнитно-электростатической ловушки WB-8. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.55.

[494] Иванов А.А. Памяти Эдуарда Павловича Круглякова. Открытые ловушки: настоящее и будущее. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.7.

[495] Дейчули П.П., Белов В.П., Иванов А.А., Колмогоров В.В., Мишагин В.В., Сорокин А.В., Ступишин Н.В. Мощный атомарный инжектор с источником плазмы на базе распределенного дугового разряда. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.56.

- [496] Сковородин Д.И., Беклемишев А.Д. Неустойчивость потока плазмы в многопробочной ловушке. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.66.
- [497] Цидулко Ю.А., Черноштанов И.С. Альфвеновская ионно-циклотронная неустойчивость в ловушке с проточной слабостолкновительной плазмой. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.67.
- [498] Ткачев А.А. Расчет профилей мощных ионных и атомарных пучков в пучковом тракте при произвольной геометрии ускоряющих апертур в ионно-оптической системе. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.76.
- [499] Карпов И.Е. Параметры плазмы, образующейся при облучении металлического капилляра лазерным импульсом. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.100.
- [500] Тимофеев И.В. Особенности развития модуляционной неустойчивости в существенно немаксвелловской плазме. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.98.
- [501] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for excited electrons and muons in  $\sqrt{s}=8$  TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector. // New Journal of Physics. - 2013.- Vol. 15. - 093011.
- [502] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for WH production with a light Higgs boson decaying to prompt electron-jets in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=7$  TeV with the ATLAS detector. // New Journal of Physics. - 2013. - Vol. 15. - 043009.
- [503] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Kolachev G.M., Korol A.A., Orlov I.O., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Schamov A. G., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for extra dimensions in diphoton events from proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=7$  TeV in the ATLAS detector at the LHC. // New Journal of Physics. - 2013. - Vol. 15. - 043007.
- [504] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of hard double-parton interactions in  $W \rightarrow l\nu$  plus 2-jet events at  $\sqrt{s}=7$  TeV with the ATLAS detector. // New Journal of Physics. - 2013. - Vol. 15. - 033038.
- [505] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Beloborodova O.L., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Kazanin V.F., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Skovpen K.Yu., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Single hadron response measurement and calorimeter jet energy scale uncertainty with the ATLAS detector at the LHC. // European Physical Journal C. - 2013. - Vol. 73. - 2305.
- [506] Е.А. Берендеев, А.В. Иванов, Г.Г. Лазарева, А.В. Снытников. Моделирование на суперЭВМ динамики плазменных электронов в ловушке с инверсными магнитными пробками и мульти-полюсными магнитными стенками. Вычислительные методы и программирование. - 2013. - Т.14. - С.149-154.
- [507] G.I. Dimov, A.V. Ivanov. A plasma trap as a target for neutralization of the negative ion beam. // Transactions of the Fusion Science and Technology. - 2013. - 63, (1T May). - P.111-114.
- [508] Карпов Г.В., Стюф А.С. Новая система измерения положения пучка для форинжектора инжекционного комплекса. // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2013. - №2. - С.110-117.
- [509] М.Г. Федотов, М. В. Коробков, С. Г. Бугаева, С. А. Тресков, А. С. Романов, В. И. Яковлев, и др. (всего 22 соавтора). Программы и задания на 2013/2014 учебный год. Физическое отделение. 2-й курс (3-й и 4-й семестры), 137с. // Новосибирский государственный исследовательский университет. Новосибирск: ФФ НГУ, 2013. [[http://www.phys.nsu.ru/courses/text/text\\_2013\\_2014/prog\\_2\\_kursa\\_fiz\\_FF\\_NGU\\_2013\\_2014.pdf](http://www.phys.nsu.ru/courses/text/text_2013_2014/prog_2_kursa_fiz_FF_NGU_2013_2014.pdf)].
- [510] М.Г. Федотов, С. А. Тресков, О. В. Бородин, М. Г. Пашенко, П.А. Кононова, Н. Л. Абашеева, и др. (всего 17 соавтора). Программы и задания на 2013/2014 учебный год. Отделение физической информатики. 2-й курс (3-й и 4-й семестры), 93с. // Новосибирский государственный исследовательский университет. Новосибирск: ФФ НГУ, 2013. [[http://www.phys.nsu.ru/courses/text/text\\_2013\\_2014/prog\\_2\\_kursa\\_inf\\_FF\\_NGU\\_2013\\_2014.pdf](http://www.phys.nsu.ru/courses/text/text_2013_2014/prog_2_kursa_inf_FF_NGU_2013_2014.pdf)].
- [511] R. So (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. Searches for a light Higgs and dark photons at BABAR. // J. Phys. Conf. Ser. - 2013. - 455. - 012040.

[512] B. Kowalewski (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. Evidence for an excess of  $B 2192 D^{(*)} \tau \nu$  decays. // J. Phys. Conf. Ser. - 2013. - 455. - 012039.

[513] B. Oberhof (BaBar Collabor.), 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 Higgs and dark bosons at BaBar. // Nucl. Phys. Proc. Suppl. 2013. - Vol.234. - P.37. [arXiv:1209.2666 [hep-ex]].

[514] J.P. Lees (BaBar Collabor.), Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu, Yushkov A.N., et al. Branching fraction measurements of the color-suppressed decays  $B^0\text{-bar} \rightarrow D^{(*)0} \pi^0, D^{*0} \eta, D^{*0} \omega$ , and  $D^{(*)0} \eta'$  and measurement of the polarization in the decay  $B^0\text{-bar} \rightarrow D^{*0} \omega$ . // Phys. Rev. D. - 2013.- Vol.87, N3. - P.039901. [arXiv:1107.5751 [hep-ex]].

### Доклады на конференциях 2013

[515] Meng L., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., et al. First recombination experiment of fluorine-like nickel ions at the main cooler storage ring. // (16th Intern. Conf. on the Physics of Highly Charged Ions, HCI 2012, Heidelberg, Germany, 2-7 Sept. 2012). - Physica Scripta. - 2013. - Vol.T156. - P.014044.

[516] Xiang R., Arnold A., Murcek P., Teichert J. (HZDR, Dresden, Germany); Volkov V. (BINP, Novosibirsk, Russia); Lu P., Vennekate H. (HZDR & Technische Universität Dresden, Germany), Barday R., Kamps T. (HZB, Berlin, Germany). Dark current measurements at the rosendorf SRF gun. // 35th Intern. Free-Electron Laser Conference, FEL 2013, New York, US, 26 - 30 Aug. 2013. - New York, 2013. - P.455-457.

[517] Lee C., Bogdanchikov A., Korol A., et al. ATLAS TDAQ system administration: an overview and evolution. // 2013 Intern. Symposium on Grids and Clouds, ISGC 2013, Taipei, Taiwan, 17 - 22 March 2013: Proc. of Science - 2013. - Art.nr 100840. -13p.

[518] Fadin V. S. Standard and quasi-conformal BFKL kernels. // 21st Intern. Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects, DIS 2013, Marseilles, France, 22 - 26 April 2013: Proc. of Science. - 2013. - 6p.

[519] Driscoll C.F., Kabantsev A.A., Dubin D.H.E., Tsidulko Yu.A. Transport, damping, and wave-couplings from chaotic and collisional neoclassical transport. // 10th Intern. Workshop on Non-neutral Plasmas, Greifswald,

Germany, 27 - 30 Aug. 2012. - 2013. - P.15-25. - (AIP Conference Proc.; Vol.1521).

[520] Krokovny P. Bottomonium states. // 26th Les Rencontres de Physique de la Vallée d'Aoste. - Results and Perspectives in Particle Physics. - 26th Physics Conference in the Aosta Valley: Results and Perspectives in Particle Physics 2013, La Thuile, Aosta Valley, Italy, 26 Febr. - 2 March 2012: (Frascati Physics Series, Vol.57, Special Issue). - 2013. - P.223-229.

[521] Толочко Б.П., Тен К.А., Прууэл Э.Р., Ляхов Н.З., Аульченко В.М. In Situ диффракционные эксперименты на пучках синхротронного излучения - от миллисекунд к фемтосекундам. // 2-я Всероссийская научная конференция "Методы исследования состава и структуры функциональных материалов" МИССФМ-2013, 21 - 25 окт. 2013, Новосибирск: сборник тезисов докладов. - Новосибирск, 2013. - С.11-12.

[522] Валеев Р.Г., Бельтюков А.Н., Кривенцов В.В., Мезенцев Н.А. Использование метода EXAFS-спектроскопии для структурных исследований полупроводниковых наночастиц в матрицах пористого  $Al_2O_3$ . // 2-я Всероссийская научная конференция "Методы исследования состава и структуры функциональных материалов" МИССФМ-2013, 21 - 25 окт. 2013, Новосибирск: сборник тезисов докладов. - Новосибирск, 2013. - С.268.

[523] Валеев Р.Г., Бельтюков А.Н., Кривенцов В.В., Мезенцев Н.А. Сравнительное EXAFS исследование полупроводниковых нанокomпозитов различной природы на основе ZnS и ZnSe. // 2-я Всероссийская научная конференция "Методы исследования состава и структуры функциональных материалов" МИССФМ-2013, 21 - 25 окт. 2013, Новосибирск: сборник тезисов докладов. - Новосибирск, 2013. - С.267.

[524] Принц В.Я., Наумова Е.В., Голод С.В., Бочаров А.А., Кубарев В.В. Комплексная система на основе кирального метаматериала для сверхбыстрого управления поляризацией излучения. // XI Российская конференция по физике полупроводников, Санкт-Петербург, 16 - 20 сентября 2013: тезисы докладов. - Санкт-Петербург: Физико-технический ин-т им. А.Ф. Иоффе РАН, 2013. - С.88.

[525] Muggli P., Caldwell A., Reimann O., Oz E., Tarkeshian R., Bracco C., Gschwendtner E., Pardons A., Lotov K., Pukhov A., Wing M., Mandry S., Vieira J. Physics of the AWAKE project [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.1179-1181.

[526] Sinyatkin S., Dubrovin A., Gurov S., Levichev E., Pupkov Yu., Rouvinsky E., Sukhanov A. Design of NSLS-II booster dipoles with combined function magnetic field [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference,

12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.3570-3572. - ТНРЕА029.

[527] Korepanov A., Akimov A., Pachkov A., Panov A. Pulse power supplies for kicker magnets of NSLS-2 booster ring [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.720-722. - МОРВА027.

[528] Fliller III R.P., Blednykh A., Choi J., Davidsaver M., De Long J., Gao F., Gardner C., Hu Y., Jahnes G., Jew W., Klug J., Marino P., Padrazo D., Pharr L., Rainer R., Ramirez G., Ratzke P., Raynis R., Rose J., Santana M., Seletskiy S., Shah J., Shaftan T., Shen G., Singh O., Smaluk V., Sorrentino C., Vetter K., Wang G.-M., Weiner G., Yang X., Yu L.-H., Zeitler E. Results of NSLS-II Linac commissioning [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.2301-2303.

[529] Gurov S., Erokhin A., Karnaev S., Kiselev V., Levichev E., Polyansky A., Semenov A., Shiyankov S., Sinyatkin S., Smaluk V., BINP SB RAS, Novosibirsk, Russia; Shaftan T., Hseuh H., BNL, NY, USA, et al. Status of NSLS-II injector [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.273-275. - МОРЕА053.

[530] Bernhard A., Huttel E., Peiffer P., Bragin A., Mezentsev N., Syrovatin V., Zolotarev K., Ferracin P. Preparations for beam tests of a CLIC damping wiggler prototype at ANKA [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.1568-1570.

[531] Erokhin A., Bulatov A., Gorchakov K., Gurov S., Kolmogorov V., Kremnev A., Pureskin D., Senkov D., Vakhrushev R. 2Hz ramping mode dipole power supply for testing the NSLSII booster dipole magnets [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.714-716. - МОРВА025.

[532] Erokhin A.I., Kolmogorov V.V., Medvedko A.S., Potapov S.I., Pureskin D.N., Senkov D.V. Power system for quadrupole magnets of NSLS-II 3 GeV booster [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.723-725. - МОРВА028.

[533] Shvedov D., Anchugov O., Kiselev V., Korepanov A., Sinyatkin S. Fast magnetic kickers for the NSLS-II booster synchrotron: design and test results [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China, МОРВА026. - 2013. - P. 717-719.

[534] Gurov S., Erokhin A., Karnaev S., Kiselev V., Levichev E., Polyansky A., Semenov A., Shiyankov S., Sinyatkin S., Smaluk V. Status of NSLS-II booster [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.196-198. - МОРЕА053.

[535] Koop I.A. Asymmetric energy colliding ion beams in the EDM storage ring [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.1961-1963.

[536] Жаркова Г.М., Сызранцев В.В., Бардаханов С.П., Голковский М.Г. Дисперсии на[но]порошков в полимерно-жидкокристаллических пленках. // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине: Доклады V Всерос. конференции, 26 - 29 марта 2013, Новосибирск, Россия. - Новосибирск: Параллель, 2013. - Т.2. - С.59-62.

[537] Лебедева А.О., Афонин Ю.В., Демьянова А.Ю., Коробейников М.В., Юношев А.С., Карпенко А.А., Попова И.В., Покушалов Е.А., Акулов А.Е., Ромашенко А.В., Лактионов П.П. Электронно-лучевая обработка протезов сосудов, изготовленных методом электроспиннинга. // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине: Доклады V Всерос. конференции, 26 - 29 марта 2013, Новосибирск, Россия. - Новосибирск: Параллель, 2013. - Т.2. - С.106-108.

[538] Kuznetsov A., Aleynik V., Bashkirtsev A., Kasatov D., Makarov A., Schudlo I., Sorokin I., Taskaev S., Tiunov M. Raising the generating current in the VITA neutron source for BNCT [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.3693-3695.

[539] Cheblakov P., Derbenev A., Karnaev S., Serednyakov S., Davidsaver M., Tian Y. Software for power supplies control of the NSLS-II booster synchrotron [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.3213-3215. - ТНРЕА032.

[540] De Maria R., Fartoukh S., Bogomyagkov A., Korostelev M. HLLHCv1.0: HL-LHC layout and optics models for 150 mm NB3SN triplets and local crab-cavities [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.1358-1350.

[541] Bogomyagkov A., De Maria R. Study of the IR2 and IR8 squeezeability for HL-LHC upgrade project [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P. 1361-1363.

- [542] Holzer B.J., De Maria R., Fartoukh S., Chance A., Dalena B., Payet J., Bogomyagkov A., Appleby R.B., Kelly S., Thomas M.B., Thompson L., Korostelev M., Hock K.M., Wolski A., Milardi C., Faus-Golfe A., Resta Lopes J. Optics design and lattice optimisation for the HL-LHC [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P. 1385-1387.
- [543] Bogomyagkov A., Levichev Eu.B., Piminov P.A., Chance A., Dalena B., Payet J., De Maria R., Fartoukh S., Giovannozzi M. Analysis of the non-linear fringe effects of large aperture triplets for the HL-LHC project. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.2615-2617. [<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2013/papers/wepea049.pdf>].
- [544] Wang G.M., Shaftan T., Bacha B., Blednykh A., Blum E., Cheng W.X., Choi J., Davidsaver M., De Long J., Dalesio L., Fliller R., George G., Guo W., Ha K., Hseuh H., Hu Y., Louie W., Maggipinto M., Padrazo D., Shen G., Singh O., Vetter K., Tian Y., Xu H., Yang L., Yang X., Willeke F., Smalyuk V., Karnaev S., Sinyatkin S., Gurov S., Erokhin A., Simonov E., Derbenev A., Cheblakov P., Kadyrov R. NSLS II injector integrated testing [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.3285-3287. - THPEA063.
- [545] Blinov V., Bekhtenev E., Chabanov A., Gordeev O., Karpov G., Krutikhin S., Kurkin G., Mikaiylov A., Kiselev V., Levichev E., Meshkov O., Mishnev S., Neyfeld V., Nikitin S., Nikolaev I., Shatilov D., Tumaikin G. RF orbit separation for CPT-test experiment at VEPP-4M [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.1634-1636. [<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2013/papers/tupme028.pdf>].
- [546] Sinyatkin S., Baranov G., Batrakov A., Burdin P., Burenkov D., Gurov S., Kiselev V., Kobets V., Levichev E., Okunev I., Polyansky A., Pupkov Y., Serdakov L., Vobly P. Magnetic measurement results of the NSLS-II booster dipole magnets [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.3573-3575. - THPEA030.
- [547] Pavlenko A., Batrakov A., Ilyin I. Electronics for precise measurements of accelerator pulsed magnets [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P. 3216-3218. THPEA033.
- [548] Okunev I., Kobets V., Batrakov A.M., Pavlenko A., Sinyatkin S., Kiselev V.A., Baranov G., Erokhin A., Vakhrushev R. Ramped magnetic measurement of NSLS-II booster dipoles [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.3576-3578. - THPEA031.
- [549] Okunev I., Kobets V.V., Batrakov A.M., Serdakov L., Baranov G., Burenkov D., Polyansky A., Sinyatkin S., Burdin P. Magnetic measurement of the NSLS-II booster dipole with combine functions [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.3579-3581. - THPME032.
- [550] Zhuravlev A., Batrakov A., Chernyakin A., Kiselev V., Konstantinov V., Pavlenko A., Petrov V., Semenov E., Senkov D. Pulsed magnets for injection and extraction sections of NSLS-II 3 GeV booster [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.3582-3584. - THPEA033.
- [551] Batrakov A.M., Chernyakin A.D., Kiselev V.A., Pavlenko A.V., Senkov D.V., Zhuravlev A.N. Pulse generators for septums and bumps of injection and extraction systems NSLS-II booster [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.726-728. - MOPWA029.
- [552] Pinayev I., Belomestnykh S., Ben-Zvi I., Brown K., Brutus C., DeSanto L., Elizarov A., Folz C.M., Gassner D.M., Hao Y., Hulsart R., Jing Y., Kayran D., Lambiase R., Litvinenko V.N., Mahler G., Mapes M., Meng W., Michnoff R., Miller T.A., Minty M., Orfin P., Pendzik A., Randazzo F., Rao T., Roser T., Sandberg J., Sheehy B., Skaritka J., Smith K., Snydstруп L., Than R., Todd R.J., Tuozzolo J., Wang G., Weiss D., Willinski M., Xu W., Zaltsman A., Kholopov M.A., Vobly P., Poelker M., Bell G.I., Cary J.R., Paul K., Schwartz B.T., Webb S.D., Boulware C., Grimm T., Jecks R., Miller N. Progress with coherent electron cooling proof-of-principle experiment [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.1535-1537.
- [553] Knyazev B.A., Azarov I.A., Cherkassky V.S., Choporova Yu.Yu., Gerasimov V.V., Getmanov Ya.V., Grigorieva E.V., Dem'yanenko M.A., Esaev D.G., Kaveev A.K., Kotelnikov I.A., Kruchinin V.N., Kruchinina M.V., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Makarov S.N., Mitkov M.S., Mostovich L.A., Nikitin A.K., Nikitin P.A., Palchikova I.G., Pavelyev V.S., Rodionov D.G., Rykhliitsky S.V., Salikova T.V., Scheglov M.A., Shevchenko O.A., Shvets V.A., Serednyakov S.S., Skorokhod D.A., Stupak M.F., Vinokurov N.A., Vlasenko M.G., Volodkin B.O., Voloshinov V.B., Zavyalova M.A., Zhizhin G.N. Advances in the optics and photonics in the terahertz region at the SPIN workstation of Novosibirsk free electron laser facility. // Technical digest: MPLP'2013: IV Intern. Symposium "Modern Problems of Laser Physics",

Novosibirsk, Russia, Aug. 25 - 31, 2013. - Novosibirsk: NSU, 2013. - P. 97-98.

[554] Бродников А. Ф., Черепанов В.Я. Модуляционный метод обнаружения фазовых переходов плавления-затвердевания в миниатюрных ампулах реперных точек. // IX Межд. научный конгресс и выставка Интерэкспо Гео-Сибирь-2013; Межд. научная конференция СибОптика-2013: сборник материалов. - Новосибирск: СГГА, 2013. - Т.2. - С.75-78.

[555] Чопорова Ю.Ю., Агафонов А.Н., Володкин Б.О., Кавеев А.К., Князев Б.А., Кропотов Г.И., Павельев В.С., Пальчикова И.Г., Сойфер В.А., Ступак М.Ф., Тукмаков К.Н., Цыганкова Е.В., Черкасский В.С., Дифракционные оптические элементы для мощных пучков терагерцового излучения. // IX Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 26 февраля - 1 марта 2013, Нижний Новгород: тез. докладов. - Н.Новгород: ИПФ РАН, 2013. - С. 18-19.

[556] Knyazev B.A., Cherkassky V.S., Choropova Yu.Yu., Gerasimov V.V., Kotelnikov I.A., Nikitin A.K., Rodionov D.G., Zhizhin G.N., Grigorieva E.V., Mostovich L.A. Application of terahertz-laser-launched evanescent waves to material study: surface plasmons on metal-dielectric interface and attenuated total reflection in circular dichroism spectrometer. // The 21th Annual Intern. Conference on Advanced Laser Technologies: ALT'13, Budva, Montenegro, Sept. 16 - 20, 2013: book of abstr. - Budva, 2013. - P.183.

[557] Shevchenko O.A., Arbuzov V.S., Dementyev E., Dovzhenko B., Getmanov Ya.V., Gorniker E.I., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kondakov A.A., Kozak V., Kozyrev E., Krutikhin S.A., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kuper E., Kuptsov I., Kurkin G.Ya., Medvedev L.E., Mironenko L., Ovchar V.K., Petrov V., Pilan A., Popik V.M., Repkov V.V., Salikova T.V., Scheglov M.A., Sedlyarov I., Serebnyakov S.S., Skrinsky A., Tararyshkin S., Tcheskidov V.G., Tribendis A.G., Vlasenko M.G., Vobly P., Volkov V., Vinokurov N. Commissioning status and further development of the Novosibirsk multiturn ERL. // The 53th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs "ERL-2013", 9 - 13 Sept., 2013: ERL 2013: Abstr. book. - Novosibirsk: Budker Inst. of Nucl. Physics of SB RAS, 2013. - P.6-10.

[558] Salikova T.V., Petrichenkov M., Repkov A., Shevchenko O.A., Vinokurov N. Radiation monitoring at Novosibirsk FEL. // The 53th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs "ERL-2013", 9 - 13 Sept., 2013: ERL 2013: Abstr. book. - Novosibirsk: Budker Inst. of Nucl. Physics of SB RAS, 2013. - P.7.

[559] Kulipanov G.N., Kubarev V.V., Popik V.M., Scheglov M.A., Shevchenko O.A., Vinokurov N., Knyazev B.A. Novosibirsk ERL-based FEL as user facility. // The 53th ICFA Advanced Beam Dynamics

Workshop on Energy Recovery Linacs "ERL-2013", 9 - 13 Sept., 2013: ERL 2013: Abstr. book. - Novosibirsk: Budker Inst. of Nucl. Physics of SB RAS, 2013. - P.7.

[560] Getmanov Ya.V., Shevchenko O.A., Vinokurov N. Longitudinal stability of multiturn ERL with split accelerating structure. // The 53th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs "ERL-2013", 9 - 13 Sept., 2013: ERL 2013: Abstr. book. - Novosibirsk: Budker Inst. of Nucl. Physics of SB RAS, 2013. - P.11.

[561] Volkov V., Arbuzov V.S., Gorniker E.I., Kolobanov E.I., Krutikhin S.A., Kuptsov I., Kurkiin G.Ya., Osipov V.N., Petrov V., Pilan A., Scheglov M.A., Sedlyarov I., Tribendis A.G., Vinokurov N. Beam diagnostic results of RF gun for the race-track microtron recuperator of BINP. // The 53th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs "ERL-2013", 9 - 13 Sept., 2013: ERL 2013: Abstr. book. - Novosibirsk: Budker Inst. of Nucl. Physics of SB RAS, 2013. - P.11.

[562] Salikova T.V. Modeling and optimization of orbit correction using fuzzy logic. // The 53th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs "ERL-2013", 9 - 13 Sept., 2013: ERL 2013: Abstr. book. - Novosibirsk: Budker Inst. of Nucl. Physics of SB RAS, 2013. - P.17.

[563] Serebnyakov, S. S. Vinokurov N. The control system of Novosibirsk free electron laser. // The 53th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs "ERL-2013", 9 - 13 Sept., 2013: ERL 2013: Abstr. book. - Novosibirsk: Budker Inst. of Nucl. Physics of SB RAS, 2013. - P.18.

[564] Timko H., Argyropoulos T., Bartosik H., Bohl T., Muller J.E., Shaposhnikova E., Petrenko A. Short high-intensity bunches for plasma wakefield experiment AWAKE in the CERN SPS [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.1820-1823.

[565] Meshkov O.I., Smalyuk V.V., Dorokhov V.L. SLM and flags for booster of NSLS-II [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China, - 2013. - P.622-625. - MOMME064.

[566] Meshkov O. I. VEPP-4: application beyond the high energy physics. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.1637-1639.

[567] Lotov K. Simulation of self-modulating particle beams in plasma wakefield accelerators [Электронный ресурс]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.1238-1241.

[568] Getmanov Ya.V., Shevchenko O.A., Atkinson T., Vinokurov N.A. Longitudinal stability of multiturn



ERL with split accelerating structure [Электронный пусец]. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - 2013. - P.2226-2229.

[569] K.V. Lotov, A. Sosedkin, E. Mesyats. Simulation of Self-modulating Particle Beams in Plasma Wakefield Accelerators. // IPAC 2013: Proc. of the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - P.1238-1240.

[570] P. Muggli, C. Bracco, E. Gschwendtner, A. Pardons, A. Caldwell, K.V. Lotov, A.M. Pukhov, J. Vieira, M.Wing. Physics of the AWAKE Project. // IPAC 2013: 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - Abstracts, p.67.

[571] K.V. Lotov, A. Sosedkin, E. Mesyats. Simulation of Self-modulating Particle Beams in Plasma Wakefield Accelerators. // IPAC 2013: the 4th Intern. Particle Accelerator Conference, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China. - Abstracts, p.72.

[572] М.Г. Козлов. Мультиреджевские мплитуды в неабелевых калибровочных теориях. // Межд. сессия-конференция секции ядерной физики, 5 - 8 ноября. 2013, Новосибирск.

[573] Ya.A. Kharkov, V.V. Sokolov. Invited talk: Elastic Enhancement Factor as a Probe of Internal Chaos. // The 6th Intern. Workshop on "Quantum Chaos and Localization Phenomena", Warsaw, Poland, 24 - 26 May 2013.

[574] V.V. Sokolov. Invited talk: Mesoscopic quantum transport in presence of a weakly disordered background: time delay, decoherence and energy absorption. // Intern. 6th Workshop on "Quantum Chaos and Localization Phenomena". Warsaw, Poland, 24 - 26 May 2013.

[575] V.V. Sokolov. Plenary (Keynote) talk: Elastic Enhancement Factor as a Probe of Chaotic Quantum dynamics. // Intern. Conference CHAOS 2013: "Chaotic Modeling and Simulation". Istanbul, Turkey, 11 - 14 June 2013.

[576] И.Б. Хриплович, А.С. Руденко. Гравитационное 4-фермионное взаимодействие в ранней Вселенной. // Зимняя школа ПИЯФ, 25 - 28 февраля 2013, Санкт-Петербург.

[577] I.B. Khriplovich, A.S. Rudenko. Gravitational four fermion interaction in the early Universe. // Workshop on Fundamental Interactions PSI, 9 - 12 September, 2013, Zurich.

[578] И.Б. Хриплович, А.С. Руденко. Гравитационное 4-фермионное взаимодействие в ранней Вселенной. // Совещание по прецизионной физике и фундаментальным физическим константам (ФФК 2013), 7 - 11 октября 2013, Санкт-Петербург.

[579] М.Н. Ачасов, В.М.Аульченко, А.Ю.Барняков, К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин, А. Г. Богданчиков, А.А. Ботов, А.В. Васильев, В.Б. Голубев, Т.В. Димова, В.П. Дружинин, Д.П. Коврижин, И.А. Кооп,

А.А. Король, С.В. Кошуба, А.Е. Образовский, Е.В. Пахтусова, С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, А.Г. Харламов, Ю.М. Шатунов, Л.В. Кардапольцев, А.С. Купич, К.А. Мартин, К.А. Гревцов, И.К. Сурин, К.Ю. Сквонь, Д.А. Штоль, А.Н. Скринский, Ю.А. Тихонов, Ю.В. Усов, А.Ю. Барняков, Д.Е. Беркаев, Д.Б. Шварц, Ю.А. Роговский, И.М. Землянский. Результаты экспериментов с детектором СНД на ВЭПП-2000. // Доклад на сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН, 5 - 8 ноября 2013, Протвино, Россия.

[580] M.N. Achasov, V.M. Aulchenko, A.Yu. Barnyakov, K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, D.E. Berkaev, A.G. Bogdanchikov, A.A. Botov, T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, V.B. Golubev, K.A. Grevtsov, L.V. Kardapoltsev, A.S. Kupich, A.G. Kharlamov, D.P. Kovrizhin, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, K.A. Martin, A.E. Obrazovsky, E.V. Pakhtusova, Yu.A. Rogovskii, S.I. Serednyakov, Z.K. Silagadze, K.Yu. Skovpen, A.N. Skrinisky, I.K. Surin, Yu.A. Tikhonov, A.V. Vasiljev, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, D.A. Shtol, D.B. Shwartz, Yu.M. Usov, I.M. Zemlyansky. Study of the process  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- \pi^0\pi^0$  with SND at VEPP2000. // XV Intern. Conference on Hadron Spectroscopy, Hadron 2013, November 4 - 8, 2013, Nara, Japan, to be published in PoS. - Proc. of Science.

[581] M.N. Achasov, V.M. Aulchenko, A.Yu. Barnyakov, K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, D.E. Berkaev, A.G. Bogdanchikov, A.A. Botov, T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, V.B. Golubev, K.A. Grevtsov, L.V. Kardapoltsev, A.S. Kupich, A.G. Kharlamov, D.P. Kovrizhin, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, K.A. Martin, A.E. Obrazovsky, E.V. Pakhtusova, Yu.A. Rogovskii, S.I. Serednyakov, Z.K. Silagadze, K.Yu. Skovpen, A.N. Skrinisky, I.K. Surin, Yu.A. Tikhonov, A.V. Vasiljev, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, D.A. Shtol, D.B. Shwartz, Yu.M. Usov, I.M. Zemlyansky. Measurement of the  $e^+e^- \rightarrow \eta \pi^+\pi^-$  cross section with SND detector at VEPP2000  $e^+e^-$ -collider in the energy range 1.08 - 2.00 GeV. // XV Intern. Conference on Hadron Spectroscopy, Hadron 2013, November 4 - 8, 2013, Nara, Japan, to be published in PoS. - Proc. of Science.

[582] M.N. Achasov, V.M. Aulchenko, A.Yu. Barnyakov, K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, D.E. Berkaev, A.G. Bogdanchikov, A.A. Botov, T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, V.B. Golubev, K.A. Grevtsov, L.V. Kardapoltsev, A.S. Kupich, A.G. Kharlamov, D.P. Kovrizhin, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, K.A. Martin, A.E. Obrazovsky, E.V. Pakhtusova, Yu.A. Rogovskii, S.I. Serednyakov, Z.K. Silagadze, K.Yu. Skovpen, A.N. Skrinisky, I.K. Surin, Yu.A. Tikhonov, A.V. Vasiljev, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, D.A. Shtol, D.B. Shwartz, Yu.M. Usov, I.M. Zemlyansky. Measurement of the neutron time like form factor in the process  $e^+e^- \rightarrow n \bar{n}$ . // Доклад на сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН, 5 - 8 ноября 2013, Протвино, Россия.

[583] M.N. Achasov, V.M. Aulchenko, A.Yu. Barnyakov, K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, D.E. Berkaev, A.G. Bogdanchikov, A.A. Botov, T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, V.B. Golubev, K.A. Grevtsov, L.V. Kardapoltsev, A.S. Kupich, A.G. Kharlamov, D.P. Kovrizhin, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, K.A. Martin, A.E. Obrazovskiy, E.V. Pakhtusova, Yu.A. Rogovskii, S.I. Serednyakov, Z.K. Silagadze, K.Yu. Skovpen, A.N. Skrinsky, I.K. Surin, Yu.A. Tikhonov, A.V. Vasiljev, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov, D.A. Shtol, D.B. Shwartz, Yu.M. Usov, I.M. Zemlyansky. Measurement of the  $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$  cross section with SND detector at VEPP2000  $e^+e^-$ -collider in the energy range 1 - 2 GeV. // XV Intern. Conference on Hadron Spectroscopy, Hadron 2013, November 4 – 8, 2013, Nara, Japan, to be publ. in PoS. Proc. of Science.

[584] 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. Резанова, 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. Малышев, 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. Сияткин, А.Н. Скринский, В.В. Смалюк, А.В. Соколов, Е.В. Старостина, А.М. Сухарев, А.А. Тальшев, В.А. Тагорский, В.И. Тельнов, Ю.А. Тихонов, К.Ю. Тодышев, Г.М. Тумайкин, Ю.В. Усов, Т.А. Харламова, А.Г. Шамоу, Д.Н. Шатилов, Б.А. Шварц, С.И. Эйдельман, А.Н. Юшков. Обзор результатов с детектора КЕДР. // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. ИФВЭ, 5 - 8 ноября 2013, Протвино.

[585] 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. Резанова, 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. Малышев, 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. Сияткин, А.Н. Скринский, В.В. Смалюк, А.В. Соколов, Е.В. Старостина, А.М. Сухарев, А.А. Тальшев, В.А. Тагорский, В.И. Тельнов, Ю.А. Тихонов, К.Ю. Тодышев, Г.М. Тумайкин, Ю.В. Усов, Т.А. Харламова, А.Г. Шамоу, Д.Н. Шатилов, Б.А. Шварц, С.И. Эйдельман, А.Н. Юшков. Измерение  $G_{ee\text{-}Bh} J/\psi$ -мезона. // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. ИФВЭ, 5 - 8 ноября 2013, Протвино.

[586] 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. Резанова, 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. Малышев, 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. Сияткин, А.Н. Скринский, В.В. Смалюк, А.В. Соколов, Е.В. Старостина, А.М. Сухарев, А.А. Тальшев, В.А. Тагорский, В.И. Тельнов, Ю.А. Тихонов, К.Ю. Тодышев, Г.М. Тумайкин, Ю.В. Усов, Т.А. Харламова, А.Г. Шамоу, Д.Н. Шатилов, Б.А. Шварц, С.И. Эйдельман, А.Н. Юшков. Измерение отношения  $G_{ee\text{-}T\mu\mu}$  ширины  $J/\psi$ -мезона. // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. ИФВЭ, 5 - 8 ноября 2013, Протвино.

[587] 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. Резанова, 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. Малышев, 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. Синяткин, 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. Шапов, Д.Н. Шатилов, Б.А. Шварц, С.И. Эйдельман, А.Н. Юшков. Измерение бранчинга распада  $J/\psi \rightarrow \gamma\eta$  и параметров  $\eta$  на КЕДР. // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. ИФВЭ, 5 - 8 ноября 2013, Протвино.

[588] 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. Резанова, 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. Малышев, 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. Синяткин, 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. Шапов, Д.Н. Шатилов, Б.А. Шварц, С.И. Эйдельман, А.Н. Юшков. Измерение Гее-Вг $\mu\mu$   $\psi(2S)$ -мезона. // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. ИФВЭ, 5 - 8 ноября 2013, Протвино.

[589] К.Ю. Тодышев, А.Г. Шапов. Совместная обработка экспериментальных данных ВаВаg, Belle, BES, CLEO и КЕДР в области  $\psi(3770)$ . // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. ИФВЭ, 5 - 8 ноября 2013, Протвино.

[590] А.Ю. Барняков, М.Ю. Барняков, В.С. Бобровников, А.Р. Бузыкаев, С.А. Кононов, Е.А. Кравченко, А.П. Онучин. Эксперименты на пучке с прототипом детектора черенковских колец ФАРИЧ. // Доклад на Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН. ИФВЭ, 5 - 8 ноября 2013, Протвино.

[591] 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. Rezanova, 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. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Test of leptonic universality in  $J/\psi$  decays. // The 2013 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPSHEP 2013), 18 - 24 July, 2013, Stockholm, Sweden.

[592] 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. Rezanova, 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. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Results from KEDR on charmonium spectroscopy. // VIII Intern. Workshop of QWG, April 22 - 26 2013, Beijing, China.

[593] 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. Rezanova, 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. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Parameters of charmonium states from KEDR. // Conference "From phi to psi", September 9 - 12, Rome, Italy. [arXiv:1311.7530 [hep-ex]].

[594] 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. Rezanova, 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. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Study of  $\psi(2S) \rightarrow \mu^+ \mu^-$  decay with KEDR detector. // From phi to psi, September 9 - 12, Rome, Italy.

[595] 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. Rezanova, 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. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Joint analysis of the data in the  $\psi(3770)$  energy range. // From phi to psi, September 9 - 12, Rome, Italy.

[596] 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. Резанова, А.Е. Блинов, В.Е. Блинов, А.В. Бобров, В.С. Бобровников, А.В. Богомыагков, 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. Малышев, 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. Синяткин, 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. Шамов, Д.Н. Шатилов, Б.А. Шварц, С.И. Эйдельман, А.Н. Юшков. Результаты с детектора КЕДР. // VI Всероссийское совещание по фундаментальным константам и прецизионным измерениям, октябрь 7 - 11, С. Петербург, Россия.

[597] 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. Rezanova, 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. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N.

Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev. Results from e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> colliders in Novosibirsk. // Intern. Symposium on Lepton and Hadron Physics at Meson, Factories, October 13 - 15, Messina, Italy.

[598] 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. Rezanova, 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. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, 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. // XV Intern. Conference on Hadron Spectroscopy, Hadron 2013, November 4 - 8, 2013, Nara, Japan.

[599] 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. Rezanova, 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. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, 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. // Development of MCP PMT for aerogel Cherenkov counters at BINP. // 4th Asian Forum for Accelerators and Detectors. 25 - 26 February 2013, Novosibirsk, Russia.

[600] 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. Rezanova, 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. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, 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. // HEP data analysis at BINP using the virtualized HPC infrastructure of the Novosibirsk Scientific Center. // 4th Asian Forum for Accelerators and Detectors. 25 - 26 February 2013, Novosibirsk, Russia.

[601] S.A. Kononov. Beam test of FARICH prototype with DPC (dSiPM). // 13th Vienna Conf. on Instrumentation (VCI 2013), February 2013, Vienna, Austria.

[602] E.A. Kravchenko. Tests of FARICH prototype with fine photon position detection. // 8th Intern. Workshop on Ring Imaging Cherenkov Detectors (RICH-2013), December 2013, Japan.

[603] Аникеев А.А., Багрянский П.А., Беклемишев А.Д., Зайцев К.В., Иванов А.А., Коваленко Ю.В., Коржавина М.С., Лизунов А.А., Максимов В.В., Мурахтин С.В., Пинженин Е.И., Приходько В.В., Савкин В.Я., Солдаткина Е.И., Соломахин А.Л., Юров Д.В., Результаты экспериментов в поддержку проекта источника нейтронов на основе осесимметричной магнитной ловушки открытого типа, XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С. 13.

[604] Солдаткина Е.И., Аракчеев А.С., Багрянский П.А., Максимов В.В., Газодинамическая ловушка как стенд для изучения взаимодействия плазмы с поверхностью. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15

февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.33.

[605] Соломахин А.Л., Багрянский П.А., Калинин П.В., Коваленко Ю.В., Савкин В.Я., Тумм М., Яковлев Д.В., Первые результаты по ЭЦР нагреву плазмы в ГДЛ. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.32. [A.L. Solomakhin, P.A. Bagryansky, P.V. Kalinin, Yu.V. Kovalenko, V.Ya. Savkin, M. Thumm, D.V. Yakovlev. The first results on the ECR plasma heating at the GDL device. // XL Intern. Zvenigorod Conference on Plasma Physics and Controlled Fusion, Zvenigorod, - 15 February 2013: Abstracts. - М.: PLASMAIOFAN, 2013. - С.32.

[606] Яковлев Д.В., Багрянский П.А., Калинин П.В., Коваленко Ю.В., Кузнецов С.А., Савкин В.Я., Соломахин А.Л., Тумм М. Система ЭЦР нагрева на установке ГДЛ. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013 Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.72.

[607] Багрянский П.А., Бреднихин С.А., Лежнин С.И., Приходько В.В., Фролов С.А., Цидулко Ю.А., Юров Д.В., Система моделирования плазменных нейтронных процессов в подкритичной гибридной системе с источником нейтронов на основе открытой ловушки. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013 Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.74.

[608] Коробейникова О.А., Мурахтин С.В., Влияние микронеустойчивости на продольные потери быстрых ионов в установке ГДЛ. // XL Межд. (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.47.

[609] А.А. Лизунов, А.С. Донин, А.А. Иванов, А.Н. Квашнин, А.Д. Хильченко. Спектральная MSE диагностика для измерения пространственных профилей магнитного поля в плазме ГДЛ. // Тезисы докладов XV Всероссийская конференция по диагностике высокотемпературной плазмы, 3 - 7 июня 2013, Звенигород, Московская обл. - С.49.

[610] П.А. Багрянский, К.В. Зайцев, М.С. Коржавина, А.А. Лизунов, В.В. Приходько, Диагностика кинетических неустойчивостей плазмы на установке ГДЛ. // Тезисы докладов XV Всероссийская конференция по диагностике высокотемпературной плазмы, 3 - 7 июня 2013, Звенигород, Московская обл. - С.99.

[611] Е.И. Пинженин, В.В. Максимов, Многоканальная система регистрации продуктов термоядерной реакции на установке Газодинамическая ловушка. // Тезисы докладов XV Всероссийская конференция по диагностике

высокотемпературной плазмы, 3 - 7 июня 2013, Звенигород, Московская обл., стр. 121.

[612] A.V. Anikeev, P.A. Bagryansky, S.A. Brednikhin, S.A. Frolov, S.I. Lezhnin, V.V. Prikhodko, Yu.A. Tsidulko and D.V. Yurov. A neutron source based on gas dynamic trap for fusion-fission hybrid systems. // 40th European Physical Society Conference on Plasma Physics, 1 - 5 July 2013, Espoo, Finland.

[613] A.V. Anikeev, P.A. Bagryansky, A.S. Donin, A.A. Ivanov, M.S. Korzhavina, Yu.V. Kovalenko, A.A. Lizunov, V.V. Maximov, S.V. Murakhtin, E.I. Pinzhenin, V.V. Prikhodko, V.Ya. Savkin, E.I. Soldatkina, A.L. Solomakhin, K.V. Zaytsev. Experimental results in support of the neutron source based on an axisymmetric mirror trap. // 40th European Physical Society Conference on Plasma Physics, 1 - 5 July 2013, Espoo, Finland.

[614] P. Bagryansky, S. Ivanenko, A. Khilchenko, Yu. Kovalenko, A. Kvashnin, A. Lizunov, A. Solomakhin, V. Savkin. Performance analysis of a dispersion interferometer based on CO2 laser and roadmap for near-term development. // 40th European Physical Society Conference on Plasma Physics, 1 - 5 July 2013, Espoo, Finland.

[615] A. Khilchenko, V. Khilchenko, A. Kvashnin, A. Lizunov, P. Zubarev. Multipoint spectral motional Stark effect diagnostic for measurements of a local pressure-driven magnetic field variation in a plasma in the gas dynamic trap. // 40th European Physical Society Conference on Plasma Physics, 1 - 5 July 2013, Espoo, Finland.

[616] О.А. Коробейникова. Влияние микронеустойчивости на продольные потери быстрых ионов в установке ГДЛ. // 51-я Межд. научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс», 12 - 18 апреля 2013. INP, Новосибирск.

[617] Lenivtseva O.G., Butylenkova O.A., Golovin E.D., Golkovsky M.G. High-energy electron beam cladding of titanium and carbon on titanium alloy. // The 8 Intern. Forum on Strategic Technologies (IFOST 2013): proc. - Mongolia, Ulaanbaatar, 28 June - 1 July 2013. - Ulaanbaatar, 2013. - Vol.1. - P.152-155.

[618] Mul D.O., Golkovskii M.G., Bataev V.A., Krivezhenko D.S. // The 8 Intern. Forum on Strategic Technologies (IFOST 2013): Proc. - Mongolia, Ulaanbaatar, 28 June - 1 July 2013. - Ulaanbaatar, 2013. - Vol.1. - P.147-149.

[619] S.P. Bardakhanov, I.K. Chakin, A.P. Zavyalov, K.V. Zobov, A.V. Nomoev. - Nanopowder production by electron beam technology. // Abstract, CD-ROM, Proc. of Intern. Congress on Particle Technology (PARTEC), 23 - 25 April, 2013. - Numberg, Germany. - 1 page. Устный доклад.

[620] Cherepkov V.G., Golubenko Yu.I., Fadeev S.N., Korchagin A.I., Kuksanov N.K., Lavruhin A.V., Nemytov P.I., Salimov R.A., Semenov A.V. New development of HV ELV accelerators for Industrial

- applications and Research Experiments (Family of accelerators and development trends). // Shanghai 17th Intern. Meeting on Radiation Processing (IMRP 2013), 4 - 8 November. - 2013. - Handbook IMRP 17. - Programme and abstracts. - TC-139. - p. 235.
- [621] Abd. Halim Baijan, Muhammad Zahidee Taat, Abu Bakar Ghazali, Sergey Fadeev, Mohd Rizal Md Chulan, Rokiah Mohd Sabri, Leo Kwee Wah, Mohd Rizal. cooling system for baby EBM scanning device. // NTC'09. Nuclear Malaysia Complex, Bangi, 6 - 8 October 2009. - Nada Nuclear Malaysia. - №1. - 2013. - P.22-23.
- [622] Fadeev S.V. Electron beam accelerator technologies, principle and application. // Proc. of Workshop on Electron Beam Accelerator Technology, 25 November - 6 December 2013 - Malaysian Nuclear Agency Handbook. - Kuala Lumpur, Malaysia, 2013.
- [623] A. Bogomyagkov, E. Levichev, D. Shatilov. Another look at IP parameters and luminosity of TLEP. // 6th TLEP Workshop, 16 - 18 October 2013, CERN.
- [624] A. Bogomyagkov, E. Levichev, P. Piminov, S. Sinyatkin, K.Zolotarev. Design of a storage ring with diffraction limited emittance and large dynamic aperture. // 3rd Low Emittance Ring Workshop, 8 - 10 July, Oxford UK.
- [625] A. Valishev, D. Shatilov, T. Pieloni. Beam-beam studies for HL-LHC. // Proc. of NA Particle Accelerator Conference (PAC'13), 29 September - 4 October 2013, Pasadena, USA.
- [626] A. Valishev, S. Nagaitsev, D. Shatilov, V. Danilov, Beam-beam limit in an integrable system. // Proc. of NA Proc. of NA Particle Accelerator Conference (PAC'13), 29 September - 4 October 2013, Pasadena, USA.
- [627] А.Д. Беклемишев, А.В. Бурдаков. Физические основы проекта термоядерного реактора на основе открытой ловушки. // XL Межд. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 11 - 15 февраля, 2013: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.8.
- [628] В.В. Поступаев, А.П. Авроров, А.В. Аржанников, В.Т. Астрелин, В.И. Баткин, А.В. Бурдаков, В.С. Бурмасов, Л.Н. Вячеславов, И.А. Иванов, М.В. Иванцовский, И.В. Кандауров, А.А. Касатов, С.А. Кузнецов, К.Н. Куклин, В.В. Куркуचेков, К.И. Меклер, С.В. Полосаткин, С.С. Попов, А.Ф. Ровенских, В.Ф. Скляров, А.В. Судников, Ю.С. Суляев, Ю.А. Трунев, А.А. Шошин. Эксперименты со 100-мкс электронным пучком на установке ГОЛ-3. // XL Межд. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 11 - 15 февраля, 2013: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.13.
- [629] И.В. Кандауров, А.П. Авроров, В.Т. Астрелин, В.И. Баткин, А.В. Бурдаков, П.В. Быков, Г.Е. Деревянкин, И.А. Иванов, И.Е. Карпов, В.В. Куркучеков, К.И. Меклер, С.В. Полосаткин, А.Ф. Ровенских, Ю.А. Трунев, В.А. Яровой. Источник мощного длинноимпульсного электронного пучка с плазменным эмиттером для инжекции в линейные плазменные системы. // XL Межд. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 11 - 15 февраля, 2013: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.222.
- [630] А.В. Судников, А.В. Бурдаков, Д.Е. Гавриленко, И.В. Кандауров, В.В. Куркучеков, С.В. Полосаткин, В.В. Поступаев, А.Ф. Ровенских, Ю.А. Трунев. Магнитная активность плазмы при инжекции длинноимпульсного электронного пучка. // XL Межд. (Звенигородская) конференции по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.49.
- [631] Скляров В.Ф., Аржанников А.В., Бурдаков А.В., Бурмасов В.С., Вячеславов Л.Н., Иванов И.А., Кандауров И.В., Кузнецов С.А., Куркучеков В.В., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Попов С.С., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Трунев Ю.А., Тумм М.К.А. Генерация микроволнового излучения во время релаксации 100 кэВ электронного пучка в плазме на установке ГОЛ-3. // XL Межд. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 11 - 15 февраля, 2013: тез. докладов. - М.: ПЛАЗМАИОФАН, 2013. - С.259.
- [632] А.В. Аржанников, М.К.А. Тумм. Развитие исследований в ЛПИМТИ НГУ в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн. // Тез. докладов IX Всерос. семинара по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, Институт прикладной физики РАН, 26 февраля - 1 марта, 2013, - С.40.
- [633] С.А. Кузнецов, М.А. Астафьев, А.В. Аржанников, А.Г. Паулиш, А.В. Гельфанд. Спектрально-селективные болометрические детекторы и визуализаторы пучков излучения для диапазона миллиметровых и субмиллиметровых волн. // Тез. докладов IX Всерос. семинара по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, Институт прикладной физики РАН, 26 февраля - 1 марта, 2013. - С.104.
- [634] A.A. Shoshin, A.V. Burdakov, D.E. Gavrilenko, A. Huber, I.A. Ivanov, K.N. Kuklin, K.I. Mekler, A.A. Medvedeva, S.V. Polosatkin, V.V. Postupaev, S.L. Sinitsky and A.A. Vasilyev. Modification of Preheated Tungsten Surface After Irradiation at the GOL-3. // Book of Abstracts 14th Intern. Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications, May 13 - 17, 2013, Forschungszentrum Juelich, Germany. - P.78.
- [635] A. Huber, M. Wirtz, B. Schweer, G. Sergienko, M. Zlobinski, I. Steudel, A. Arakcheev, A. Burdakov, J.W. Coenen, A. Kreter, J. Linke, Ph. Mertens, V. Philipps, G. Pintsuk, M. Reinhart, U. Samm, A. Shoshin, B. Unterberg. Investigation of the Impact on Tungsten of Transient Heat Loads applied by Laser Irradiation. //

Book of Abstracts 14th Intern. Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications, May 13 - 17, 2013, Forschungszentrum Juelich, Germany. - P.96.

[636] В.Т. Астрелин, И.В. Кандауров, В.М. Свешников. Численное моделирование транспортировки и сжатия электронного пучка сходящимся магнитным полем при его инжекции в многопробочную ловушку ГОЛ-3. // Труды 11-го Всерос. семинара "Проблемы теоретической электронной и ионной оптики", 28 - 30 мая 2013, Москва, Россия: изд-во ГИЦ РФ ОАО "Орион". - С.20-24.

[637] В.Т. Астрелин. Особенности решения задач плазменной эмиссионной электроники в пакете прикладных программ POISSON-2. // Труды 11-го Всерос. семинара "Проблемы теоретической электронной и ионной оптики", 28 - 30 мая 2013, Москва, Россия: изд-во ГИЦ РФ ОАО "Орион". - С.107-111.

[638] С.В. Полосаткин. Об интерпретации результатов доплеровской спектроскопии атомарных пучков. // Тез. докладов XV Всерос. конференции «Диагностика высокотемпературной плазмы», Звенигород, 3 - 7 июня 2013, С.51-53.

[639] В.Ф. Скляр, А.В. Аржанников, А.В. Бурдаков, И.А. Иванов, С.А. Кузнецов, К.И. Меклер, С.В. Полосаткин, В.В. Поступаев, А.Ф. Ровенских, С.Л. Синицкий, М.А. Макаров. Поляризация субтерагерцового излучения при коллективном нагреве плазмы электронным пучком. // Тез. докладов XV Всерос. конференции «Диагностика высокотемпературной плазмы», Звенигород, 3 - 7 июня 2013, с.108-109.

[640] A.S. Arakcheev, A.A. Burdakov, A.A. Shoshin, A. Huber, M. Wirtz, G. Sergienko, I. Stuedel, J.W. Coenen, A. Kreter, J. Linke, Ph. Mertens, V. Philipps, G. Pintsuk, M. Reinhart, U. Samm, B. Schweer, B. Unterberg, M. Zlobinski. Model of cracks formation in tungsten after heat loads. // 4th IEA Intern. Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (PMIF 2013), joint with the Plasma Facing Components 2013 Meeting (PFC 2013). 9 - 13 September 2013 in Oak Ridge, Tennessee, USA. [[http://www.ornl.gov/sci/fed/PMIF13/PMIF-PFC13\\_404.pdf](http://www.ornl.gov/sci/fed/PMIF13/PMIF-PFC13_404.pdf)].

[641] A. Huber, M. Wirtz, B. Unterberg, G. Sergienko, I. Stuedel, M. Zlobinski, A. Arakcheev, A. Burdakov, J.W. Coenen, A. Kreter, J. Linke, Ch. Linsmeier, Ph. Mertens, V. Philipps, G. Pintsuk, M. Reinhart, B. Schweer, A. Shoshin, A. Terra. Investigation of the impact on tungsten of transient heat loads applied by laser irradiation. // 4th IEA Intern. Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (PMIF 2013), joint with the Plasma Facing Components 2013 Meeting (PFC 2013). 9 - 13 September 2013 in Oak Ridge, Tennessee, USA. [[http://www.ornl.gov/sci/fed/PMIF13/PMIF-PFC13\\_205.pdf](http://www.ornl.gov/sci/fed/PMIF13/PMIF-PFC13_205.pdf)].

[642] V.V. Postupaev, A.V. Burdakov, I.A. Ivanov, V.F. Sklyarov, A.V. Arzhannikov, D.Ye. Gavrilenko, I.V. Kandaurov, A.A. Kasatov, V.V. Kurkuchekov, K.I. Mekler, S.V. Polosatkin, S.S. Popov, A.F. Rovenskikh, A.V. Sudnikov, Yu.S. Sulyaev, Yu.A. Trunev, and L.N. Vyacheslavov. Temporal structure of  $\sim 2\omega$  emission at plasma heating by long-pulse electron beam. // 40th EPS Conference on Plasma Physics, Vol.37D, ISBN 2-914771-84-3, 1 - 5 July 2013, Espoo, Finland, P5.409. [<http://ocs.ciemat.es/EPS2013PAP/pdf/P5.409.pdf>].

[643] I.A. Ivanov, A.V. Arzhannikov, M.A. Astafyev, A.V. Burdakov, S.A. Kuznetsov, K.I. Mekler, V.V. Postupaev, A.F. Rovenskikh, V.F. Sklyarov, M.K.A. Thumm. Sub-THz spectrally-selective quasi-optical system. // 40th EPS Conference on Plasma Physics, Vol.37D, ISBN 2-914771-84-3, 1 - 5 July 2013, Espoo, Finland, P6.008, [<http://ocs.ciemat.es/EPS2013PAP/pdf/P6.008.pdf>].

[644] Кузнецов Г.И., Батазова М.А. Электронно-оптическая система индукционного ускорителя ЛИУ-2. // Доклад на X Межд. семинаре по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В.П. Саранского, сентябрь 2013, Алушта, Крым.

[645] S. Gurov, V. Kiselev, S. Sinyatkin. Current induced in vacuum chamber during NSLS-II booster ramp. // Proc of NA Particle Accelerator Conference (PAC'13), 29 September - 4 October 2013, Pasadena, USA. - MOPBA01.

[646] C. Bracco, E. Gschwendtner, A. Petrenko, H. Timko, T. Argyropoulos, H. Bartosik, T. Bohl, J. E. Muller, B. Goddard, M. Meddahi, A. Pardons, E. Shaposhnikova, F. M. Velotti, H. Vincke. Beam studies and experimental facility for the AWAKE experiment at CERN. // 1st European Advanced Accelerator Concepts Workshop (EAAC'2013), June 2 - 7, 2013, Elba, Italy.

[647] A. Petrenko, et. al. Electron injection into proton driven plasma wake-field for the AWAKE experiment at CERN. // 1st European Advanced Accelerator Concepts Workshop (EAAC'2013), June 2 - 7, 2013, Elba, Italy.

[648] Belchenko Yu.I., Gorbovsky A.I., Ivanov A.A., Konstantinov S.G., Sanin A.L., Shikhovtsev I.V., Tiunov M.A. Multiaperture negative ion source. // Third Intern. Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS 2012), Jyvaskyla, Finland, Sept. 03-07, 2012. - Jyvaskyla, 2013. - P.167-176. - (AIP Conference Proc.; Vol.1515).

[649] 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., Popov S.S., Sanin A.L., Shikhovtsev I.V., Sorokin A.V., Stupishin N.V., Tiunov M.A., Belov V.P., Gorbovsky A.I., Kobets V.V., Binderbauer M., Putvinski S., Smirnov A., Sevier L. Development of a negative ion-based neutral beam injector in Novosibirsk. // Third Intern. Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS 2012), Jyvaskyla, Finland, Sept. 3 - 7, 2012. - Jyvaskyla, 2013. - P.197-206. - (AIP Conference Proc.; Vol.1515).



- [650] Belchenko Yu.I., Gorbovsky A.I., Ivanov A.A., Sanin A.L., Savkin V.Y., Tiunov M.A. Upgrade of CW negative hydrogen ion source. // Third Intern. Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS 2012), Jyväskylä, Finland, Sept. 03-07, 2012. - 2013. - P.448-455. - (AIP Conference Proc.; Vol.1515).
- [651] Romanov, D. Berkaev, A. Kasaev, I. Koop, A. Kyrpotin, A. Lysenko, E. Perevedentsev, V. Prosvetov, Yu. Rogovsky, A. Senchenko, P. Shatunov, Yu. Shatunov, D. Shwartz, A. Skrinsky, I. Zemlyansky, Yu. Zharinov. Status of the electron-positron collider VEPP-2000. // Proc. of NA Particle Accelerator Conference (PAC'13), 29 September - 4 October 2013, Pasadena, USA.
- [652] A. Romanov, I. Koop, E. Perevedentsev, D. Shwartz. Luminosity estimation and beam phase space analysis at VEPP-2000. // Proc. of NA Particle Accelerator Conference (PAC'13), 29 September - 4 October 2013, Pasadena, USA.
- [653] V. Smaluk, O. Meshkov, G. Karpov, E. Bekhtenev, S. Karnev BINP, Novosibirsk, Russia; O. Singh, D. Padrazo, K. Vetter, G. Wang, BNL, Upton, USA. Status of beam diagnostics for NSLS-II booster. // Second International Beam Instrumentation Conference, IBIC 2013, 16 - 19 September 2013, Oxford, UK.
- [654] G.M. Wang, T. Shaftan, B. Bacha, A. Blednykh, E. Blum, W.X. Cheng, J. Choi, M. Davidsaver, J. De Long, L. Dalesio, R. Fliller, M. Fulkerson, G. George, W. Guo, K. Ha, H. Hseuh, Y. Hu, W. Louie, M. Maggipinto, J. Mead, D. Padrazo, G. Shen, K. Shroff, O. Singh, K. Vetter; Y. Tian, H. Xu, L. Yang, X. Yang, F. Willeke, BNL, New York, USA; V. Smalyuk, S. Karnev, S. Sinyatkin, S. Gurov, A. Erokhin, E. Simonov, A. Derbenev, P. Cheblakov, R. Kadyrov, BINP, Novosibirsk, Russia. NSLS-II commissioning tools. // Proc. of NA Particle Accelerator Conference (PAC'13), 29 September - 4 October 2013, Pasadena, USA, MOPHO17.
- [655] R. Kadyrov, P. Cheblakov, A. Derbenev, S. Karnev, S. Serebnyakov, E. Simonov, BINP, Novosibirsk, Russia; Scott Buda, Hsiao-Chaun Hseuh BNL, New York, USA; NSLS-II Booster interlock system. // The Intern. Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems: ICALEPCS'13, October 6 - 11, 2013, San-Francisco, USA, MOPPC051.
- [656] S. Karnev, P. Cheblakov, A. Derbenev, R. Kadyrov, S. Serebnyakov, E. Simonov, BINP, Novosibirsk, Russia; J. De Long, BNL, New York, USA. Status of the NSLS-II Booster Control System // The Intern. Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems: ICALEPCS'13, October 6 - 11, 2013, San-Francisco, USA, MOPPC108.
- [657] P. Cheblakov, D. Bolkhovityanov, R. Kadyrov, S. Karnev, A. Makeev, BINP, Novosibirsk, Russia. Configuration system of the NSLS-II booster control system electronics. // The Intern. Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems: ICALEPCS'13, October 6 - 11, 2013, San-Francisco, USA, MOPPC021.
- [658] A. Derbenev, P. Cheblakov, R. Kadyrov, S. Karnev, S. Serebnyakov, E. Simonov, BINP, Novosibirsk, Russia; M. Davidsaver, BNL, New York, USA. Monitoring and archiving of NSLS-II booster synchrotron parameters. // The Intern. Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems: ICALEPCS'13, October 6 - 11, 2013, San-Francisco, USA, TUPPC021.
- [659] P. Cheblakov, A. Derbenev, R. Kadyrov, S. Karnev, S. Serebnyakov, E. Simonov, BINP, Novosibirsk, Russia; T. Shaftan, Y. Tian, BNL, New York, USA. NSLS-II booster ramp handling. // The Intern. Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems: ICALEPCS'13, October 6 - 11, 2013, San-Francisco, USA, THPPC053.
- [660] S. Taskaev. A new method for generating monoenergetic neutrons using accelerator. // NEUDOS-12 program: 3 - 7 June 2013, Aix-en-Provence, France, P.53.
- [661] В.И. Алейник, З.Ш. Аннаев, А.Г. Башкирцев, А.В. Бурдаков, Н.В. Губанова, В.В. Каньгин, Д.А.Касатов, А.И. Кичигин, А.С. Кузнецов, А.Н. Макаров, Р.А. Морозов, И.Н. Сорокин, С.Ю. Таскаев, И.М. Щудло. Исследования на новаторском ускорителе-тандеме с вакуумной изоляцией. // Программа и тезисы докладов. Научно-практический семинар "Ускорители для будущего России", 24 - 25 июня 2013, Москва, МГУ, С.28-31.
- [662] V. Aleynik, Z. Annayev, N. Gubanova, V. Kanygin, D. Kasatov, A. Kichigin, A. Kiskayev, A. Kuznetsov, A. Makarov, R. Morozov, S. Taskaev, I. Shchudlo. Conducting of the biological research at the accelerator-based epithermal neutron source. // 7th Young Researchers' Boron Neutron Capture Therapy Meeting, 22 - 26 September 2013, Granada, Spain: Book of Abstracts, P.15.
- [663] V. Aleynik, N. Gubanova, D. Kasatov, A. Kuznetsov, A. Makarov, R. Morozov, S. Taskaev, I. Shchudlo. VITA neutron source for BNCT - Status and Prospects. // 7th Young Researchers' Boron Neutron Capture Therapy Meeting, 22 - 26 September, Granada, Spain: Book of Abstracts, P.16.
- [664] V. Aleynik, D. Kasatov, A. Kuznetsov, A. Makarov, S. Sinitskiy, S. Taskaev, I. Shchudlo. Neutron spectrum measurement on the tandem accelerator for BNCT using a new time-of-flight method. // 7th Young Researchers' Boron Neutron Capture Therapy Meeting, 22 - 26 September, Granada, Spain: Book of Abstracts, P.53.
- [665] V.B. Reva, N.I. Alinovskiy, T.V. Bedareva, O.V. Belikov, V.N. Bocharov, V.V. Borodich, M.I. Bryzgunov, A.V. Bublely, V. Chekavinskiy, V. Cheskidov, B. Dovzhenko, A. Erokhin, M. Fedotov, A.D. Goncharov, K. Gorchakov, V.K. Gosteev, I. Gusev, A.V. Ivanov, G.

Karpov, Yu. Koisin, M. Kondaurov, V. Kozak, A. Kruchkov, A. Lisitsyn, I. Lopatkin, V. Mamkin, A.S. Medvedko, V.M. Panasyuk, V.V. Parkhomchuk, I. Poletaev, V. Polukhin, A. Protopopov, D. Pureskin, A. Putmakov, P.A. Selivanov, E. Semenov, D. Senkov, D.N. Skorobogatov, N.P. Zapiatkin. Commissioning COSY cooler with electron beam at Novosibirsk. // COOL'13, TUPM2HA01, 10 - 14 June 2013, Murren, Switzerland: Proceedings. - P.79-83.

[666] M. Bryzgunov, A. Bublely, V. Panasyuk, V. Parkhomchuk, V. Reva. Matching of magnetic field with energy of electrons in 2 MeV COSY Cooler. // COOL'13, TUPM2HA01, 10 - 14 June 2013, Murren, Switzerland.

[667] M.I. Bryzgunov, A.V. Bublely, V.A. Chekavinskiy, I.A. Gusev, A.V. Ivanov, M.N. Kondaurov, V.M. Panasyuk, V.V. Parkhomchuk, D.N. Pureskin, A.A. Putmakov, V.B. Reva, D.V. Senkov, D.N. Skorobogatov. Collector for Electron cooling systems with suppression of reflected electron flux. // COOL'13, TUPM2HA01, 10 - 14 June 2013, Murren, Switzerland.

[668] M. Bryzgunov, A. Bublely, V. Cheskidov, M. Fedotov, V. Gosteev, O. Meshkov, V. Panasyuk, V. Parkhomchuk, V. Reva, BINP, Novosibirsk, Russia. V. Kamerzhiev, G. Langenberg FZJ, Jülich, Germany. Compass for measuring the magnetic lines straightness at the cooling section in vacuum. // COOL'13, TUPM2HA01, 10 - 14 June 2013, Murren, Switzerland.

[669] С.А. Растигеев, А.Д. Гончаров, В.Ф. Ключев, Е.С. Константинов, Л.А. Кутнякова, В.В. Пархомчук, А.В. Петрожицкий, А.Р. Фролов. Ускорительный масс-спектрометр СО РАН. // X Межд. семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В.П. Саранцева, 3 - 7 сентября 2013, Алушта, Украина.

[670] С.А. Растигеев, А.Д. Гончаров, В.Ф. Ключев, Е.С. Константинов, Л.А. Кутнякова, В.В. Пархомчук, А.В. Петрожицкий, А.Р. Фролов. Адаптация УМС ИЯФ для биомедицинских приложений. // X Межд. семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В.П. Саранцева, 3 - 7 сентября 2013, Алушта, Украина.

[671] O.A. Shevchenko, V.S. Arbizov, E.N. Dementyev, V.A. Dovzhenko, Ya.V. Getmanov, E.I. Gorniker, V.A. Knyazev, E.I. Kolobanov, A.A. Kondakov, V.R. Kozak, E.V. Kozyrev, S.A. Krutikhin, V.V. Kubarev, G.N. Kulipanov, E.A. Kuper, I.V. Kuptsov, G.Ya. Kurkin, L.E. Medvedev, L.A. Mironenko, V.K. Ovchar, V.M. Petrov, A.M. Pilan, V.M. Popik, V.V. Repkov, T.V. Salikova, M.A. Scheglov, I.K. Sedlyarov, S.S. Serednyakov, A.N. Skrinsky, S.V. Tararyshkin, V.G. Tcheskidov, A.G. Tribendis, N.A. Vinokurov, M.G. Vlasenko, P.D. Vobly, V.N. Volkov, BINP, Novosibirsk, Russia. // COOL'13, TUPM2HA01, 10 - 14 June 2013, Murren, Switzerland: Proceedings.

[672] V.I. Telnov. Issues with current designs of e+e- and  $\gamma\gamma$  colliders. // Talk at PHOTON-2013: Intern. Conf.

on the Structure and the Interactions of the Photon, May 20 - 24, 2013, Paris.

[673] V.I. Telnov. Crossing angle and beamdump at PLC. // Talk at LCWS-2013: Intern. Workshop on Future Linear Colliders, November 11 - 15, 2013, Tokyo.

[674] V.I. Telnov, Problems of charge compensation in a ring e+e- Higgs factory. Talk at 5th TLEP Workshop, TLEP, Physics and Technology, July 25 - 26 FNAL, USA.

[675] V.I. Telnov. Photon collider Higgs factories. // Talk at European Linear Collider Workshop, LC-ECFA-2013, May 27-31, DESY, Hamburg, Germany.

[676] V.I. Telnov. Photon collider: summary. // Talk at European Linear Collider Workshop, LC-ECFA-2013, May 27 - 31, DESY, Hamburg, Germany.

[677] S. Dawson, A. Gritsan, V.I. Telnov, et al. Higgs Working Group Report of the Snowmass 2013 Community Planning Study. // Intern. Conference "Snowmass on the Mississippi", July 29 - August 6, 2013, Minneapolis, USA. [E-print:arXiv:1310.8361 [hep-ex]].

[678] V.I. Telnov. Comments on photon colliders for Snowmass 2013. // Intern. Conference "Snowmass on the Mississippi", July 29 - August 6, 2013, Minneapolis, USA. [arXiv:1308.4868 [physics.acc-ph]].

[679] I.A. Prokhorov, G.F. Abdrashitov, I.I. Averbukh, V.P. Belov, V.I. Davydenko, A.A. Ivanov, V.A. Kapitonov, V.V. Kolmogorov, A.A. Kondakov, I.V. Shikhovtsev, A.V. Sorokin, A.A. Tkachev. Ion Source for 10 sec Diagnostic Neutral Beam. Transactions of Fusion Science and Technology, V.63, No1T, 2013, pp. 349-351.

[680] A.A. Ivanov, V.I. Davydenko, I.A. Kotelnikov, A. Kreter, V.V. Mishagin, I.A. Prokhorov, I.V. Shikhovtsev, B. Unterberg. High efficiency helicon plasma source for PMI studies. // Transactions of Fusion Science and Technology, 2013. - Vol.63, No1T. - P.217-220.

[681] T. Richert, J. Baldzuhn, V.I. Davydenko, U. Herbst, A.A. Ivanov, V.V. Kolmogorov, P. McNeely, M. Sauer, B. Schweer, I.V. Shikhovtsev. Diagnostic Neutral Beam Injector for WENDELSTEIN W7-X. // Abstracts of 25th Symposium on Fusion Engineering, June 10-14, 2013, San Francisco, California, paper #1416.

[682] А.А. Иванов, В.И. Давыденко, В.А. Капитонов, А.В. Сорокин, И.В. Шиховцев, В.П. Белов, А.А. Ткачев. Проект многоапертурной ионно-оптической системы квазистационарного ионного источника. // Труды 11-го Всероссийского семинара "Проблемы теоретической электронной и ионной оптики", 28-30 мая 2013, Москва, Россия, изд-во ГНЦ РФ ОАО "Орион", с. 130-133.

[683] A. Listopad, Y. Belchenko, V. Davydenko, A. Ivanov, I. Ivanov, V. Kolmogorov, V. Mishagin, S. Putvinsky, G. Shulzhenko, A. Smirnov. Arc plasma generator for atomic driver in steady-state negative ion source. // The 15th Intern. Conference on Ion Sources ICIS-13, September 9-13, 2013, Chiba, Japan: Abstracts, p.73.

[684] A.V. Kolmogorov, Grigor Atoian, Vladimir I. Davydenko, Alexander A. Ivanov, John Ritter, Nikolay V. Stupishin, Anatoli N. Zelenski. Production, Formation and transport of high-brightness atomic hydrogen beam studies for the RHIC polarized source upgrade. // The 15th Intern. Conference on Ion Sources ICIS-13, September 9-13, 2013, Chiba, Japan: Abstracts, p.273.

[685] A. Zelenski, G. Atoian, J. Fite, D. Raparia, J. Ritter, D. Steski, V. Klenov, V. Zubets, V. Davydenko, A. Ivanov, A. Kolmogorov. The RHIC Polarized Source Upgrade. // North American Particle Accelerator Conference, September 29 - October 4, Pasadena, California, USA, <http://jacow.web.psi.ch/conf/pac13/prepress/MO0BA2.PDF>

### Препринты 2013

1. В.И. Каплин, А.Н. Квашнин, Е.Б. Левичев, О.А. Плотникова. Программируемый 32-канальный контроллер температуры с управляемыми реле. // Препринт ИЯФ 2013-1, 18с. - Новосибирск, 2013.

2. V.S. Fadin, R. Fiore, L.N. Lipatov, A. Papa. Mobius invariant BFKL equation for the adjoint representation in  $N=4$  SUSY. // Preprint Budker INP 2013-6, 19с. - Novosibirsk, 2013.

3. Д.С. Гуров, В.В. Зуев, П.В. Мартышкин, В.В. Петров, М. Масузава (КЕК). Разработка корректоров для Супер Б-фабрики КЕК. // Препринт ИЯФ 2013-8, 16с. - Новосибирск, 2013.

4. А. Бондарь, А. Бузулуцков, А. Долгов, С. Пелеганчук, Р. Снопков, А. Соколов, Е. Шемякина, Л.Шехтман. Проект двухфазного криогенного лавинного детектора для поиска темной материи и регистрации низкоэнергетических нейтрино. // Препринт ИЯФ 2013-10, 22с. - Новосибирск, 2013.

5. В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов, А.Ю. Барняков, К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин, Д.Е. Беркаев, А.Г. Богданчиков, 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, А.П. Лысенко, К.А. Мартин, А.Е. Образовский, Е.В. Пахтусова, Ю.А. Роговский, А.Л. Романов, С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, К.Ю. Сковпень, А.Н. Скринский, И.К. Сурин, Ю.А. Тихонов, Ю.В. Усов, А.Г. Харламов, П.Ю.Шатунов, Ю.М. Шатунов, А.С. Купич, Д.Б. Шварц, Д.А. Штоль. Статус анализа процесса  $e^+e^- \rightarrow n$  по данным экспериментов с детектором СНД на коллайдере ВЭПП-2000. // Препринт ИЯФ 2013-11, 19с. - Новосибирск, 2013.

6. В.Е. Блинов, Е.А. Бехтенёв, О.П. Гордеев, А.И. Жмака, С.А. Крутихин, В.А. Киселев, Г.Я. Куркин, Е.Б. Левичев, О.И. Мешков, А.И. Михайлов, В.В. Нейфельд, С.А. Никитин, И.Б. Николаев, Г.М. Тумайкин, А.П. Чабанов, Д.Н. Шатилов. Система ВЧ разведения электронного и

позитронного пучков на ВЭПП-4М. // Препринт ИЯФ 2013-12, 17с. - Новосибирск, 2013.

7. В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов, А.Ю. Барняков, К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин, А.Г. Богданчиков, А.А. Ботов, А.В. Васильев, В.Б. Голубев, Т.В. Димова, В.П. Дружинин, Д.П. Коврижин, И.А. Кооп, А.А. Король, С.В. Кошуба, А.Е. Образовский, Е.В. Пахтусова, С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, А.Г. Харламов, Ю.М. Шатунов, Л.В. Кардапольцев, А.С. Купич, К.А. Мартин, К.А. Гревцов, И.К. Сурин, К.Ю. Сковпень, Д.А. Штоль, А.Н. Скринский, Ю.А. Тихонов, Ю.В. Усов, Д.Е. Беркаев, Д.Б. Шварц, Ю.А. Роговский, И.М. Землянский, А.Н. Шукаев. Эксперименты с детектором СНД на  $e^+e^-$  коллайдере ВЭПП-2000. // Препринт ИЯФ 2013-13, 23с. - Новосибирск, 2013.

8. А.Е. Бондарь, А.Ф. Бузулуцков, А.В. Бурдаков, Е.С. Гришняев, А.Д. Долгов, А.Н. Макаров, С.В. Полосаткин, А.В. Соколов, С.Ю. Таскаев, Л.И. Шехтман. Проект систем рассеяния нейтронов для калибровки детекторов темной материи и низкоэнергетических нейтрино. // Препринт ИЯФ 2013-14, 22с. - Новосибирск, 2013.

9. И.Ю. Басок. Механическая стабильность проволочной структуры дрейфовой камеры детектора КЕДР. // Препринт ИЯФ 2013-16, 35с. - Новосибирск, 2013.

10. I. Balitsky and A.V. Grabovsky. NLO evolution of 3-quark Wilson loop operator. // Preprint Budker INP 2013-25, 52с. - Novosibirsk, 2013.

11. А.В. Богомяков, К.В. Золотарев, Е.Б. Левичев, П.А. Пиминов, С.В. Синяткин. Проект накопителя электронов с эмиттансом, ограниченным дифракционным пределом, и с большой динамической апертурой. // Препринт ИЯФ 2013-28, 38с. - Новосибирск, 2013.

12. D.S. Gurov, P.V. Martyshkin, M. Masuzawa, V.V. Petrov, V.V. Zuev. Steering magnets for the upgrade of KЕК B-factory. // Preprint Budker INP 2013-31, 15с. - Novosibirsk, 2013.

\*\*\*

13. A. Caldwell, E. Gschwendtner, K. Lotov, P. Muggli, M. Wing, et al. (AWAKE Collab.). AWAKE Design Report: A Proton-Driven Plasma Wakefield Acceleration Experiment at CERN. // E-print: CERN-SPSC-2013-013; SPSC-TDR-003.

14. K. Lotov. Simulation of wakefield excitation and electron acceleration for AWAKE experiment. // E-print: CERN EDMS No.1276926.

15. S. Jolly, J. Bauche, E. Gschwendtner, D. Hall, G.le Godec, K. Lotov, S. Mandry, P. Muggli, A. Petrenko, and M. Wing. Design of the AWAKE Spectrometer. // E-print: CERN EDMS No. 1275622.

16. L. Yi, B. Shen, K. Lotov, L. Ji, X. Zhang, W. Wang, X. Zhao, Y. Yu, J. Xu, X. Wang, Y. Shi, L. Zhang, T. Xu, Z. Xu. Scheme for proton-driven plasma-wakefield acceleration of positively charged particles in a

hollow plasma channel. // E-print: arXiv:1306.1613 [physics.plasm-ph].

17. K.V. Lotov. Excitation of two-dimensional plasma wakefields by trains of equidistant particle bunches. // E-print: arXiv:1307.3812 [physics.plasm-ph].

18. L. Yi, B. Shen, L. Ji, K. Lotov, A. Sosedkin, X. Zhang, W. Wang, J. Xu, Y. Shi, L. Zhang, and Z. Xu. Positron acceleration in a hollow plasma channel up to TeV regime. // E-print: arXiv:1309.5691 [physics.plasm-ph].

19. V.L. Chernyak. Mass spectra in N=1 supersymmetric QCD with additional fields. III. // E-print: arXiv: 1308.5863 [hep-th].

20. A.G. Grozin. Introduction to effective field theories, 3. Bloch--Nordsieck effective theory, HQET. // arXiv:1305.4245 [hep-ph].

21. A.G. Grozin. Effective weak Lagrangians in the Standard Model and B decays. // arXiv:1311.0550 [hep-ph].

22. Valentin V. Sokolov, Oleg V. Zhironov. Chaotic Interference and Quantum-Classical Correspondence: Mechanisms of Decoherence and State Mixing. // arXiv:1311.1953 [quant-ph].

23. V.F. Dmitriev, A.I. Milstein, S.G. Salnijov. Isoscalar amplitude dominance in  $e^+e^-$  annihilation to  $N\bar{N}$  pair close to the threshold. // arXiv: 1307.0936 [hep-ph].

24. V.M. Khatsymovsky. On the Faddeev gravity on the piecewise flat manifold. // arXiv:1312.7116[gr-qc], p.1-10, (2013).

25. R.N Lee. LiteRed 1.4: a powerful tool for the reduction of the multiloop integrals. // arXiv: 1310.1145.

26. V.M. Katkov. On structure of the polarization operator in a magnetic field. // arXiv:1311.6205v1 [hep-ph].

27. 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. Rezanova, 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. Sandryev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Schwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev.

Measurement of the ratio of the leptonic widths  $\Gamma_{ee}/\Gamma_{\mu\mu}$  for the  $J/\psi$  meson. // E-print: arXiv:1311.5005v2 [hep-ex]].

28. Adam,..., F.V. Ignatov, B.I. Khazin, A.S. Popov, Yu.V. Yudin (MEG Collaboration) Measurement of polarized muon radiative decay. // E-print: arXiv:1312.3217 [hep-ex].

29. A.Baldini,..., F.V. Ignatov, B.I. Khazin, A.S. Popov, Yu.V. Yudin (MEG Collab.). MEG Upgrade Proposal. e-Print: arXiv:1301:7225 [physics.ins-det].

30. A. Bogomyagkov, E.Levichev, D.Shatilov. Beam-beam effects investigation and parameters optimization for a circular  $e^+e^-$  collider TLEP to study the Higgs boson. // arXiv:1311.1580 [physics.acc-ph] (or arXiv:1311.1580v1 [physics.acc-ph] for this version).

31. E.V Abakumova, M.N. Achasov, D.E. Berkaev, V.V. Kaminsky, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, A.A. Krasnov, N. Yu. Muchnoi, E.A. Perevedentsev E.E. Pyata, P. Yu. Shatunov, Yu. M. Shatunov, D.B. Shwartz. A system of beam energy measurement based on the Compton backscattered laser photons for the VEPP-2000 electron-positron collider. // E-print: arXiv:1310.7764.

32. M. Ablikim, M.N. Achasov, N.Yu. Muchnoi, I.B. Nikolaev, et al. Search for  $\eta c(2S)$  and  $hc$  decays into  $pp^-$ . // E-print: arXiv:1310.6099 [hep-ex].

33. M. Ablikim, M.N. Achasov..., N.Yu. Muchnoi, I.B. Nikolaev, et al. Observation of the decay  $\psi(3686) \rightarrow \Lambda\Sigma\pm\pi^{\mp}+c.c.$  // E-print: arXiv:1310.5826 [hep-ex].

34. M. Ablikim, M.N. Achasov..., N.Yu. Muchnoi, I.B. Nikolaev, et al. Observation of  $e^+e^- \rightarrow \gamma\chi(3872)$  at BESII. // E-print: arXiv:1310.4101 [hep-ex].

35. M. Ablikim, M.N. Achasov, N.Yu. Muchnoi, I.B. Nikolaev, et al. Observation of a charged  $(D\bar{D})^-$  mass peak in  $e^+e^- \rightarrow \pi^+(D\bar{D})^-$  at  $E_{cm} = 4.26$  GeV. // E-print: arXiv:1310.1163 [hep-ex].

36. M. Ablikim, M.N. Achasov, N.Yu. Muchnoi, I.B. Nikolaev, et al. Observation of a charged charmoniumlike structure in  $e^+e^- \rightarrow (D^*D^{\mp*})\pm\pi^{\mp}$  at  $\sqrt{s} = 4.26$  GeV. // E-print: arXiv:1308.2760 [hep-ex].

37. M. Baszczyk, P. Dorosz, J. Kolodziej, M.Yu. Barnyakov, V.E. Blinov, A.A. Botov, V.P. Druzhinin, V.B. Golubev, S.A. Kononov, E.A. Kravchenko, E.B. Levichev, A.P. Onuchin, S.I. Serednyakov, D.A. Shtol, Y.I. Skovpen, E. P. Solodov, et al. SuperB Technical Design Report. Jun 24, 2013. 495p. INFN-13-01-PI, LAL-13-01, SLAC-R-1003. e-Print: arXiv:1306.5655 [physics.ins-det].

38. M.N. Achasov, V.M. Aulchenko, A.Yu. Barnyakov, K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, A.G. Bogdanchikov, A.A. Botov, T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, V.B. Golubev, K.A. Grevtsov, L.V. Kardapoltsev, A.G. Kharlamov, D.P. Kovrizhin, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, A.P. Lysenko, K.A. Martin, A.E. Obrazovsky, E.V. Pakhtusova, E.A. Perevedentsev, A.L. Romanov, S.I. Serednyakov, Z.K.

- Silagadze, A.N. Skrinsky, I.K. Surin, Yu. A. Tikhonov, A.V. Vasiljev, P.Yu. Shatunov, Yu. M. Shatunov, D.A. Shtol. Study of the process  $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$  in the center-of-mass energy range 1.07–2.00 GeV. // E-print: arXiv:1312.7078.
39. M. Bicer, H.D. Yildiz, .. V.I. Telnov, et al. First look at the physics case of TLEP. // E-print: arXiv:1308.6176 [hep-ex].
40. V.I. Telnov, Higgs factories. // E-print: arXiv:1307.3893.
41. V.I. Telnov, Limitation on the luminosity of  $e^+e^-$  storage rings due to beamstrahlung. // E-print: arXiv:1307.3915 [physics.acc-ph].
42. D. Bernard (on behalf of the 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  $e^+e^-$  to hadrons cross sections at BABAR, and implication for the muon  $g-2$ . // PoS Hadron 2013. 126. [arXiv:1402.0618 [hep-ex]].
43. J.P. Lees (BaBar Collaboration), 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 decay  $B^0\text{-bar} \rightarrow \Lambda_c^+ \bar{p} p$ . // [arXiv:1312.6800 [hep-ex]].
44. J.P. Lees (BaBar Collab.), Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu, Yushkov A.N., et al. Measurement of the  $B \rightarrow Xs l^+l^-$  branching fraction from a sum of exclusive final states. // arXiv:1312.5364 [hep-ex].
45. J.P. Lees, (BaBar Collabor.), Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu, Yushkov A.N., et al. Evidence for the decay  $B^0 \rightarrow \omega\omega$  and search for  $B^0 \rightarrow \omega\phi$ . // arXiv:1312.0056 [hep-ex].
46. V. Santoro (BaBar Collabor.), 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. Studies of charmonium production at BaBar. // arXiv:1311.7531 [hep-ex].
47. V.P. Druzhinin (on behalf of the BABAR Collaboration). Measurement of the proton electromagnetic form factors at BABAR. // arXiv:1311.7517 [hep-ex].
48. J.P. Lees, (BaBar Collabor.), 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  $B^+ \rightarrow X^- l^+ l^+$  decays. // [arXiv:1310.8238 [hep-ex]].
49. E.M.T.I. Puccio (BaBar Collabor.), 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. Lepton-number violation in B decays at BaBar. // arXiv:1310.0876 [hep-ex].
50. J.P. Lees (BaBar Collabor.), 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 Collins asymmetries in inclusive production of charged pion pairs in  $e^+e^-$  annihilation at BABAR. // arXiv:1309.5278 [hep-ex].
51. G. Eigen (BaBar Collabor.), 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. Radiative penguin decays at  $e^+e^-$  colliders. // arXiv:1309.1327 [hep-ex].
52. R.M. White (BaBar Collabor.), 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 Charm at  $e^+e^-$  colliders. // arXiv:1308.0080 [hep-ex].
53. A.P. Perez (BaBar Collabor.), 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. Recent results on T and CP violation at BABAR. // arXiv:1307.2759.
54. A.P. Perez (BaBar Collabor.), 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. Light Higgs and dark photon searches at BABAR. // arXiv:1307.2758.
55. J.P. (BaBar Collabor.), Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu, Yushkov A.N., et al. Study of the  $K^+ K^-$  invariant-mass dependence of CP asymmetry in  $B^+ \rightarrow \pi^+ K^+ K^-$  decays. // arXiv:1305.4218 [hep-ex].
56. A. Denig (BaBar Collabor.), 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  $\pi^0, \eta\eta'$  transition form factors at BaBar. // Nucl. Phys. Proc. Suppl.- 2013. Vol.234. - P.283.
57. E.M.T.I. Puccio (BaBar Collabor.), 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. Direct CP violation in charmless B decays at BaBar. // arXiv:1301.5668 [hep-ex].
58. E. Ben-Haim (BaBar Collabor.), 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. Results on  $\beta$  from BABAR. // arXiv:1301.4133 [hep-ex].

59. D. Derkach (BaBar Collabor.), 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. Combination of gamma measurements from BaBar. // arXiv:1301.3283 [hep-ex].

60. J.L. Ritchie (BaBar Collabor.), 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. Angular Analysis of  $B \rightarrow K^* \Gamma^+ \Gamma^-$  in BABAR. // arXiv:1301.1700 [hep-ex].

61. R.F. Cowan (BaBar Collabor.), Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu, Yushkov A.N., et al. Observation of Time-reversal Violation at BABAR. // arXiv:1301.1372 [hep-ex].

62. A. Rossi (BaBar Collabor.), Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu, Yushkov A.N., et al. Search for  $B \rightarrow \nu\bar{\nu}$  and related modes with the BABAR detector. // arXiv:1301.1179 [hep-ex].

63. J.L. Ritchie (BaBar Collabor.), 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. BABAR results on  $B \rightarrow X_s \gamma$ . // arXiv:1301.0836 [hep-ex].

## Авторефераты 2013

1. ЛИ Роман Николаевич. Квазиклассический подход к описанию процессов квантовой электродинамики в поле тяжелого атома. // 01.04.02 - теоретическая физика. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

2. ТИМОФЕЕВ Игорь Валериевич. Процессы возбуждения мелкомасштабной турбулентности и электромагнитной эмиссии в замагниченной плазме с электронным пучком. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

3. АЧАСОВ Михаил Николаевич. Изучение лёгких векторных мезонов в процессах рождения адронов в  $e^+e^-$  аннигиляции. // 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

4. КОЛМОГОРОВ Вячеслав Вячеславович. Системы электропитания атомарных инжекторов для диагностики и нагрева плазмы. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора технических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

5. ГЕРАСИМОВ Василий Валерьевич. Методы исследования поверхностей с помощью терагерцового излучения лазера на свободных электронах. 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

6. САЛЬНИКОВ Сергей Георгиевич. Спиновые эффекты в электрон-протонном и нуклон-анти-нуклонном взаимодействии. // 01.04.02 - теоретическая физика. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

7. КОЗЛОВ Михаил Геннадьевич. Мульти-реджевские амплитуды в неабелевых калибровочных теориях. // 01.04.02 - теоретическая физика. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

8. АРАКЧЕЕВ Алексей Сергеевич. Особенности поведения материалов при мощной плазменной нагрузке. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

9. ЛИЗУНОВ Андрей Александрович. Пространственные профили давления анизотропной плазмы в газодинамической ловушке. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

10. СУДНИКОВ Антон Вячеславович. Пространственная структура плазмы в многопучковой ловушке с продольным током. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

11. КАРДАПОЛЬЦЕВ Леонид Васильевич. Изменение сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$  в области энергии от 1.05 до 2.00 ГэВ. // 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

12. АКИМОВ Александр Валентинович Система высоковольтного импульсного питания линейного индукционного ускорителя ЛИУ-2. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная

техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

13. БРЫЗГУНОВ Максим Игоревич. Электронный коллектор высоковольтной системы электронного охлаждения для COSY. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

14. ШВАРЦ Дмитрий Борисович. Круглые встречные пучки в коллайдере ВЭПП-2000. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

15. ШАТИЛОВ Дмитрий Николаевич. Моделирование эффектов встречи в циклических коллайдерах. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2013, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

### Участие в конференциях 2013

1. XL Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС, 11 - 15 февраля 2013, Звенигород, Россия.

2. 4th Asian Forum for Accelerators and Detectors, 25 - 26 February 2013, Novosibirsk, Russia.

3. Зимняя школа ПИЯФ, 25 - 28 февраля 2013, Санкт-Петербург.

4. IX Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 26 февраля - 1 марта 2013, Нижний Новгород.

5. 13th Vienna Conference on Instrumentation, VCI 2013, February, 2013, Vienna, Austria.

6. 2013 International Symposium on Grids and Clouds, ISGC 2013, 17 - 22 March, 2013, Taipei, Taiwan.

7. V Всероссийская конференция, 26 - 29 марта 2013, Новосибирск, Россия.

8. 51-я Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс», 12 - 18 апреля 2013. INP, Новосибирск, Россия.

9. VIII International Workshop of QWG, April 22 - 26 2013, Beijing, China.

10. 21st International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects, DIS 2013, 22 - 26 April, 2013, Marseilles, France.

11. International Congress on Particle Technology, PARTEC 2013, 23 - 25 April, 2013, Nurnberg, Germany.

12. 4th International Particle Accelerator Conference, IPAC 2013, 12 - 17 May 2013, Shanghai, China.

13. 14th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications, May 13 - 17, 2013, Forschungszentrum Juelich, Germany.

14. International Conference on the Structure and the Interactions of the Photon, PHOTON-2013, May 20 - 24, 2013, Paris.

15. 6th International Workshop on "Quantum Chaos and Localization Phenomena", 24 - 26 May, 2013, Warsaw, Poland.

16. European Linear Collider Workshop, LC-ECFA-2013, May 27-31, 2013, DESY, Hamburg, Germany.

17. 11-ый Всероссийский семинар "Проблемы теоретической электронной и ионной оптики", 28 - 30 мая 2013, Москва, Россия.

18. XV Всероссийская конференция по диагностике высокотемпературной плазмы, 3 - 7 июня 2013, Звенигород, Россия.

19. COOL'13, 10 - 14 June 2013, Murren, Switzerland.

20. 25th Symposium on Fusion Engineering, June 10 - 14, 2013, San Francisco, California, USA.

21. International Conference "Chaotic Modeling and Simulation", CHAOS 2013, 11-14 June, 2013, Istanbul, Turkey.

22. Научно-практический семинар "Ускорители для будущего России", 24 - 25 июня 2013, Москва.

23. 8 International Forum on Strategic Technologies, IFOST 2013, 28 June - 1 July, 2013, Ulaanbaatar, Mongolia.

24. 40th European Physical Society Conference on Plasma Physics, 1 - 5 July, 2013, Espoo, Finland.

25. 1st European Advanced Accelerator Concepts Workshop, EAAC'2013, June 2 - 7, 2013, Elba, Italy.

26. 3rd Low Emittance Ring Workshop, 8 - 10 July, Oxford UK.

27. 2013 European Physical Society Conference on High Energy Physics, EPSHEP 2013, 18 - 24 July, 2013, Stockholm, Sweden.

28. 5th TLEP Workshop, TLEP, Physics and Technology, July 25 - 26 FNAL, USA.

29. International Conference "Snowmass on the Mississippi", July 29 - August 6, 2013, Minneapolis, USA.

30. IV International Symposium "Modern Problems of Laser Physics", MPLP'2013, August 25 - 31, 2013, Novosibirsk, Russia.

31. 35th International Free-Electron Laser Conference, FEL 2013, 26 - 30 August, 2013, New York, US.

32. X Международный семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В.П.Саранцева, 3 - 7 сентября 2013, Алушта, Украина.
33. Conference "From phi to psi", September 9 - 12, Rome, Italy.
34. Workshop on Fundamental Interactions PSI, 9 - 12 September, 2013, Zurich.
35. 53th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs, ERL-2013, 9 - 13 September, 2013, Novosibirsk, ИЯФ, Россия.
36. 4th IEA International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research, PMIF 2013, joint with the Plasma Facing Components 2013 Meeting, PFC 2013, 9 - 13 September 2013, Tennessee, USA.
37. Second International Beam Instrumentation Conference, IBIC 2013, 16 - 19 September 2013, Oxford, UK.
38. 15th International Conference on Ion Sources ICIS-13, September 9 - 13, 2013, Chiba, Japan.
39. XI Российская конференция по физике полупроводников, 16 - 20 сентября 2013, Санкт-Петербург, Россия.
40. 21th Annual International Conference on Advanced Laser Technologies, ALT'13, September 16 - 20, 2013, Budva, Montenegro.
41. 7th Young Researchers' Boron Neutron Capture Therapy Meeting, 22 - 26 September, 2013, Granada, Spain.
42. North American Particle Accelerator Conference, September 29 - October 4, Pasadena, California, USA.
43. International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, ICALEPCS'13, October 6 - 11, 2013, San-Francisco, USA.
44. VI Всероссийское совещание по прецизионной физике и фундаментальным физическим константам, ФФК 2013, октябрь 7 - 11, С. Петербург, Россия.
45. International Symposium on Lepton and Hadron Physics at Meson, Factories, October 13 - 15, Messina, Italy.
46. 6th TLEP Workshop, 16 - 18 October 2013, CERN.
47. 2-я Всероссийская научная конференция "Методы исследования состава и структуры функциональных материалов", МИССФМ-2013, 21 - 25 октября 2013, Новосибирск, Россия.
48. 17th International Meeting on Radiation Processing, IMRP 2013, 4 - 8 November, 2013, Shanghai.
49. XV International Conference on Hadron Spectroscopy, Hadron 2013, November 4 - 8, 2013, Nara, Japan.
50. Международная сессия-конференция секции ядерной физики, 5 - 8 ноября. 2013, Новосибирск.
51. Сессия-конференции секции ядерной физики ОФН РАН, 5 - 8 ноября 2013, Протвино, Россия.
52. International Workshop on Future Linear Colliders, LCWS-2013, November 11 - 15, 2013, Tokyo.
53. Workshop on Electron Beam Accelerator Technology, 25 November - 6 December, 2013, Kuala Lumpur, Malaysia.
54. 8th International Workshop on Ring Imaging Cherenkov Detectors (RICH~2013), December 2013, Japan.
55. IX Международный научный конгресс и выставка Интерэкспо Гео-Сибирь-2013; Межд. научная конференция СибОптика-2013, Новосибирск, Россия.



## 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>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>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. Эйххоф (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 Ортинелл (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 $\phi$ -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. Камицубо (Япония)</i>
36	<i>КЕК (Япония)</i>	Проведение исследований в области физики ускорителей и смежных областях, разработка детекторов элементарных частиц.	1995	<i>А. Скринский (ИЯФ); А. Сузуки (КЕК)</i>
37	<i>Центр плазменных исследований Унив. 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  
Кулипанов Геннадий Николаевич  
Скринский Александр Николаевич

#### Члены-корреспонденты РАН:

Бондарь Александр Евгеньевич  
Винокуров Николай Александрович  
Димов Геннадий Иванович  
Логачев Павел Владимирович  
Пархомчук Василий Васильевич  
Хрипович Иосиф Бенционович  
Шатунов Юрий Михайлович

### Дирекция

#### И. о. директора:

Скринский Александр Николаевич

#### Советник РАН:

Кулипанов Геннадий Николаевич

#### Учёный секретарь:

Васильев Алексей Владимирович

#### Заместители директора по научной работе:

Бондарь Александр Евгеньевич  
Бурдаков Александр Владимирович  
Иванов Александр Александрович  
Левичев Евгений Борисович  
Логачев Павел Владимирович  
Мезенцев Николай Александрович  
Тихонов Юрий Анатольевич

### Ученый совет

- |   |                 |
|---|-----------------|
| 1. Академик, председатель                   | Скринский А.Н.  |
| 2. Член-корр. РАН, зам. председателя        | Бондарь А.Е.    |
| 3. Член-корр. РАН, зам. председателя        | Бурдаков А.В.   |
| 4. Доктор физ.-мат. наук                    | Иванов А.А.     |
| 5. Доктор физ.-мат. наук                    | Левичев Е.Б.    |
| 6. Член-корр. РАН, зам. председателя        | Логачев П.В.    |
| 7. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Мезенцев Н.А.   |
| 8. Доктор физ.-мат. наук, профессор         | Тихонов Ю.А.    |
| 9. Кандидат физ.-мат. наук, уч. секретарь   | Васильев А.В.   |
| 10. Доктор физ.-мат. наук                   | Багрянский П.А. |
| 11. Доктор технических наук                 | Батраков А.М.   |
| 12. Кандидат физ.-мат. наук                 | Беклемишев А.Д. |
| 13. Доктор физ.-мат. наук                   | Блинов В.Е.     |
| 14. Кандидат технических наук               | Брызгин А.А.    |
| 15. Член-корр. РАН                          | Винокуров Н.А.  |

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 16. Академик                         | Диканский Н.С.  |
| 17. Член-корр. РАН                   | Димов Г.И.  |
| 18. Доктор физ.-мат. наук            | Дружинин В.П.   |
| 19. Кандидат физ.-мат. наук          | Золотарев К.В.  |
| 20. Кандидат физ.-мат. наук          | Кардапольцев Л.В. – председатель<br>Совета молодых ученых |
| 21. Доктор технических наук          | Колмогоров В.В.   |
| 22. Доктор физ.-мат. наук            | Кооп И.А.   |
| 23. Кандидат физ.-мат. наук          | Краснов А.А.  |
| 24. Доктор технических наук          | Куксанов Н.К.   |
| 25. Академик                         | Кулипанов Г.Н.  |
| 26. Доктор физ.-мат. наук, доцент    | Лотов К.В.  |
| 27. Доктор физ.-мат. наук            | Мешков О.И.   |
| 28. Доктор физ.-мат. наук, профессор | Мильштейн А.И.  |
| 29. Член-корр. РАН                   | Пархомчук В.В.  |
| 30. Кандидат физ.-мат. наук          | Ракшун Я.В. – председатель<br>профсоюзной организации     |
| 31. Доктор физ.-мат. наук, профессор | Середняков С.И.   |
| 32. Кандидат физ.-мат. наук          | Старостенко А.А.  |
| 33. Доктор физ.-мат. наук, профессор | Фадин В.С.  |
| 34. Доктор физ.-мат. наук            | Хазин Б.И.  |
| 35. Член-корр. РАН                   | Хриплович И.Б.  |
| 36. Член-корр. РАН                   | Шатунов Ю.М.  |
| 37. Кандидат технических наук        | Шиянков С.В.  |
| 38. Доктор физ.-мат. наук            | Эйдельман С.И.  |

## 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.)	Вячеславов Л.Н.	Попов С.С.
Кандауров И.В. (секр.)	Димов Г.И.	Поступаев В.В.
Аникеев А.В.	Давыденко В.И.	Приходько В.В.
Аржанников А.В.	Иванов И.А.	Санин А.Л.
Астрелин В.Т.	Капитонов В.А.	Синицкий С.Л.
Ахметов Т.Д.	Константинов С.Г.	Скринский А.Н.
Багрянский П.А.	Котельников И.А.	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.
<u>Волосов В.И.</u>	Мурахтин С.В.	Хильченко А.Д.
Воскобойников Р.В.	Полосаткин С.В.	Шиянков С.В.

**Встречные пучки**

Пархомчук В.В. (предс.)	Киселев В.А.	Пестриков Д.В.
Петров В.В. (секр.)	Колмогоров В.В.	Петров В.М.
Анашин В.В.	Кооп И.А.	Рева В.Б.
<u>Барков Л.М.</u>	Краснов А.А.	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.

## 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.  
Мальшев 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 2013

Абакумова Е.В.	31п	Аульченко В.М.	7, 8, 25, 71, 90, 101, 190,
Абдрашитов А.Г.	493, 679		198, 209, 213, 221, 238,
Абдрашитов Г.Ф.	649		242, 246, 253, 255, 257,
Авербух И.И.	679		262, 268, 269, 289, 304,
Авроров А.П.	471, 477, 628, 629		345, 348, 349, 350, 444,
Акимов А.В.	135, 164, 481, 527, 12А		485, 487, 521, 579, 589,
Алейник В.И.	16, 136, 166, 488, 538,		581, 582, 583, 584, 585,
	661, 662, 663, 664		586, 587, 588, 591, 592,
Алешаев А.Н.	464		593, 594, 595, 596, 597,
Алиновский Н.И.	665		598, 599, 600, 5п, 7п,
Алякринский О.Н.	480		27п, 38п
Анашин В.В.	90, 444, 464, 487, 584,	Ахметов Т.Д.	451
	585, 586, 587, 588, 591,	Ахметшин Р.Р.	75, 304
	592, 593, 594, 595, 596,	Ачасов М.Н.	5, 7, 8, 141, 142, 143,
	597, 598, 599, 600, 649,		183, 186, 187, 189, 192,
	27п		195, 196, 199, 200, 204,
Андреанов А.В.			205, 220, 223, 224, 226,
Аникеев А.В.	450, 453, 454, 603, 612,		230, 233, 244, 245, 250,
	613		266, 271, 273, 328, 336,
Анисёнков А.В.	101, 114, 130, 131, 144,		347, 367, 579, 580, 581,
	145, 146, 147, 148, 150,		582, 583, 5п, 7п, 31п,
	152, 154, 159, 160, 182,		32п, 33п, 34п, 35п, 36п,
	185, 188, 191, 202, 203,		38п, 3А
	225, 227, 229, 236, 239,	Бабичев Е.А.	
	240, 256, 270, 272, 274,	Багрянский П.А.	73, 449, 450, 453, 454,
	275, 276, 279, 283, 284,		603, 607, 610, 612, 613,
	285, 286, 287, 290, 291,		614
	293, 296, 297, 300, 301,	Бак П.А.	481
	304, 311, 312, 313, 314,	Балдин Е.М.	72, 90, 161, 444, 487,
	325, 327, 339, 361, 366,		584, 585, 586, 587, 588,
	369, 370, 371, 372, 373,		591, 592, 593, 594, 595,
	379, 381, 384, 388, 392,		596, 597, 598, 599, 600,
	393, 399, 405, 407, 410,		27п
	411, 416, 501, 502, 503,	Банзаров В.Ш.	304
	504, 505	Баранов Г.Н.	546, 548, 549
Аннаев З.Ш.	661, 662	Ваганов G.N.	
Анненков В.В.	124	<u>Барков Л.М.</u>	101, 304, 487
Антохин Е.И.		Барладян А.К.	90, 444, 584, 585, 586,
Анчугов О.В.	464, 533		587, 588, 591, 592, 593,
Аракчеев А.С.	73, 604, 635, 640, 641,		594, 595, 596, 597, 598,
	8А		599, 600, 27п
Арапов Л.Н.		Барняков А.М.	483
Арбузов В.С.	28, 557, 561, 671	Барняков А.Ю.	5, 6, 7, 8, 90, 100, 102,
Аржанников А.В.	11, 17, 27, 33, 81, 123,		103, 110, 112, 113, 167,
	432, 441, 462, 468, 469,		250, 444, 487, 579, 580,
	471, 472, 476, 628, 631,		581, 582, 583, 584, 585,
	632, 633, 639, 642, 643		586, 587, 588, 590, 591,
Астафьев М.А.	17, 633, 643		592, 593, 594, 595, 596,
Астрелин В.Т.	52, 454, 468, 471, 473,		597, 598, 599, 600, 5п,
	477, 478, 479, 628,		7п, 27п, 38п
	629, 636, 637	Барняков М.Ю.	6, 90, 100, 102, 103, 110,
Астрелина К.В.			112, 113, 444, 487, 584,
Атлуханов М.Г.			585, 586, 587, 588, 590,
			591, 592, 593, 594, 595,
			596, 597, 598, 599, 600,
			27п, 37п

Бару С.Е.	90, 444, 480, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п		218, 219, 228, 237, 241, 243, 246, 247, 248, 251, 258, 261, 263, 264, 265, 352, 356, 444, 464, 487, 511, 512, 513, 514, 545, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 6п, 27п, 37п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п
Басок И.Ю.	90, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 9п, 27п		511, 512, 513, 514, 545, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 6п, 27п, 37п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п
Батазова М.А.	644		
Баткин В.И.	471, 628, 629		
Батраков А.М.	487, 546, 547, 548, 549, 550, 551		
Башкирцев А.Г.	488, 489, 538, 661	Блинов М.Ф.	
Баштовой Н.С.	101, 304	Бобров А.В.	80, 90, 119, 120, 153, 155, 201, 212, 217, 277, 288, 295, 326, 329, 333, 337, 340, 342, 374, 375, 377, 378, 380, 385, 420, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Бедарева Т.В.	665		
Безуглов В.В.			
Беклемишев А.Д.	122, 451, 454, 455, 470, 471, 473, 496, 603, 627		
Беликов О.В.	665		
Белобородов К.И.	5, 6, 7, 8, 102, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 38п		
Белобородова О.Л. (Резанова О.Л.)	90, 114, 130, 131, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 236, 239, 240, 256, 270, 272, 275, 276, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 311, 312, 313, 314, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 410, 411, 416, 444, 487, 501, 502, 503, 504, 505, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Бобровников В.С.	6, 90, 102, 103, 114, 130, 131, 146-149, 152, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 236, 239, 240, 270, 272, 274-276, 279, 283-287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 311, 312, 313, 314, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 444, 485, 487, 501, 502, 503, 504, 505, 584, 585, 586, 587, 588, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Белов В.П.	493, 495, 649, 679, 682	Богданчиков А.Г.	5, 7, 8, 114, 130, 131, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 236, 239, 240, 250, 256, 270, 272, 274, 275, 276, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 311, 312, 313, 314, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 501, 502, 503, 504, 505, 517, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 38п
Белов С.Д.			
Белых В.В.	107, 126, 140		
Бельченко Ю.И.	648, 649, 650, 683		
Бердюгин А.В.	5, 7, 8, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 38п		
Беркаев Д.Е.	5, 7, 8, 304, 336, 486, 579, 580, 581, 582, 583, 651, 5п, 7п, 31п		
Бехтенов Е.А.	545, 653, 6п		
Блинов А.Е.	90, 444, 487, 584-588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п		
Блинов В.Е.	90, 105, 106, 184, 194, 197, 206, 207, 208, 210,		

Богомягков А.В.	464, 466, 487, 540, 541, 542, 543, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 623, 624, 11п, 27п, 30п	595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п		
Болховитянов Д.Ю.	657	Бурдаков А.В.	11, 108, 109, 123, 169, 451, 454, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 627, 628, 629, 630, 631, 634, 635, 639, 640, 641, 642, 649, 661, 8п	
Бондаренко А.В.		Бурдин П.Н.	549	
Бондарь А.Е.	49, 51, 80, 89, 90, 101, 104, 115, 117, 118, 119, 120, 134, 153, 155, 157, 168, 169, 179, 181, 190, 198, 201, 212-217, 222, 231, 232, 234, 235, 249, 252, 253, 254, 257, 260, 262, 268, 277, 288, 295, 302-304, 306, 307, 308, 309, 310, 315, 317, 318, 320, 321, 323, 326, 329, 333, 335, 337, 340, 342, 343, 344, 346, 348, 349, 350, 351, 353, 354, 357, 358, 359, 360, 363, 364, 368, 374, 375, 376, 377, 378, 380, 385, 386, 387, 389, 390, 391, 394, 395, 396, 397, 403, 404, 406, 408,409, 412, 413, 417, 418, 419, 420, 424, 439, 444, 461, 485, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 4п, 8п, 27п		Буренков Д.Б.	464, 467, 546, 549
Борисов А.А.	486	Бурмасов В.С.	11, 465, 471, 472, 476, 628, 631	
Бороденко А.А.		Быков Е.В.		
Бородич В.В.	665	Быков П.В.	471, 477, 629	
Ботов А.А.	5, 7, 8, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 37п, 38п	Васильев А.А.	178	
Брагин А.В.	304, 530	Васильев А.В.	5, 7, 8, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 625, 626, 634, 5п, 7п, 38п	
Бродников А.Ф.	554	Васичев С.П.	464	
Брызгунов М.И.	97, 137, 438, 440, 665, 666, 667, 668, 13А	Вахрушев Р.В.	531, 548	
Брызгин А.А.		Веремеенко В.Ф.		
Брызгин К.А.	172	Весенев В.М.	6, 102	
Бублей А.В.	665, 666, 667, 668	Винокуров Н.А.	23, 41, 42, 66, 78, 79, 331, 433, 434, 447, 553, 557, 558, 559, 560, 561, 563, 568, 671	
Бузулуцков А.Ф.	104, 132, 134, 168, 169, 439, 4п, 8п	Винокурова А.Н.	198, 254, 257, 262, 318, 349, 402	
Бузыкаев А.Р.	6, 90, 102, 103, 105, 106, 184, 194, 197, 206, 207, 208, 210, 218, 219, 228, 237, 241, 243, 246, 247, 248, 251, 258, 261, 263, 264, 265, 352, 356, 444, 487, 511, 512, 513, 514, 584, 585, 586, 587, 588, 590, 591, 592, 593, 594,	Власенко М.Г.	557, 671	
		Власов А.Ю.		
		Воблый П.Д.	546, 552, 557, 671	
		Володин М.А.	466	
		Волков В.Н.	41, 66, 79, 516, 557, 561, 671	
		<b>Волосов В.И.</b>		
		Воробьев А.И.	90, 304, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	
		Воробьев В.С.	80, 115, 117, 118, 119, 120, 153, 155, 157, 179, 181, 201, 212, 215, 217, 221, 222, 231, 232, 234, 235, 238, 242, 249, 252, 253, 255, 259, 260, 262, 268, 269, 277, 288, 295, 302, 303, 306, 307, 308, 309, 310, 315, 320, 321, 323, 326, 329, 333, 335, 337, 340, 342, 343, 344, 345, 346, 348, 350, 351, 353, 354, 357, 358, 359,	

	360, 363, 364, 368, 374, 375, 377, 378, 380, 385, 386, 387, 389, 390, 391, 394, 395, 396, 397, 402, 403, 404, 406, 408, 409, 412, 413, 417, 418, 419, 461		
Воронин Л.А.		Грабовский А.В.	383, 400, 401, 10п
Воскобойников Р.В.	107, 451	Грамолин А.В.	
Востриков В.А.		Гребенюк А.А.	101, 104, 134, 304
Вячеславов Л.Н.	108, 123, 139, 471, 472, 476, 628, 631, 642	Гревцов К.А.	5, 7, 8, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 38п 75, 151, 304, 341, 484, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Габышев Н.И.	213, 216, 221, 234, 238, 253, 254, 255, 257, 262, 267, 269, 289, 335, 348, 349, 350, 357, 376, 402	Гришняев Е.С.	68, 109, 169, 170, 8п
Гавриленко Д.Е.	123, 454, 473, 475, 630, 633, 642	Грозин А.Г.	4, 57, 446, 20п, 21п
Гамбарян В.В.		Грошев В.Р.	487
Гармаш А.Ю.	253, 289	Губанова Н.В.	661, 662, 663
Гафаров М.Р.		Губин К.В.	
Гаязов С.Е.	304	Гудков Б.А.	447
Генцелев А.Н.	176, 425	Гулевич В.В..	6, 90, 102, 103, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Герасимов В.В.	13, 40, 46, 82, 86, 428, 431, 553, 556, 5A	Гуров Д.С.	3п, 12п
Герасимов Р.Е.	383	Гуров С.М.	526, 529, 531, 534, 544, 546, 645, 654
Гетманов Я.В.	23, 41, 66, 79, 433, 434, 553, 557, 560, 568, 671	Гусев Г.А.	464, 486
Глухов С.А.	464	Гусев Д.В.	487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Глуховченко Ю.М.	464, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Гусев Е.А.	
Голковский М.Г.	67, 84, 456, 457, 458, 536, 617, 618	Гусев И.А.	665, 666
Головин Р.А.		Давыденко В.И.	107, 126, 138, 140, 451, 454, 477, 649, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685 422, 423
Голубев В.Б.	5, 6, 7, 8, 102, 105, 106, 184, 194, 197, 206, 207, 208, 210, 218, 219, 228, 237, 241, 243, 246, 247, 248, 250, 251, 258, 261, 263, 264, 265, 352, 356, 511, 512, 513, 514, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 37п, 38п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п	Дарьин Ф.А.	
Голубенко Ю.И.	463, 620	Девятайкина Т.А. (Яскина Т.А.)	
Гольденберг Б.Г.	18, 19, 176, 425, 426, 435	Дейчули П.П.	140, 493, 495, 649
Гончаров А.Д.	443, 665, 669, 670	Дементьев Е.Н.	557, 671
Горбовский А.И.	648, 649, 650	Демин С.П.	449
Горбунов В.А.		Денисенко Р.С.	
Гордеев О.П.	464, 545, 6п	Дербенев А.А.	539, 544, 654, 655, 656, 658, 659
Горловой А.В.		Деревянкин Г.Е.	471, 477, 629
Горникер Э.И.	28, 557, 561, 671	Диканский Н.С.	34, 50, 480
Горчаков К.М.	531, 665	Димов Г.И.	507, 649
Гостеев В.К.	665, 668	Димова Т.В.	5, 7, 8, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 38п
		Дмитриев В.Ф.	56, 298, 23п
		Довженко Б.А.	557, 665, 671
		Докутович В.А.	
		Долгов А.М.	104, 134, 157, 168, 169, 170, 171, 4п, 8п
		Домаров Е.В.	172
		Донин А.С.	64, 450, 453, 493, 609, 613
		Дорохов В.Л.	565
		Дорохов Д.В.	

Драничников А.Н.	649	Зорин А.В.	175
Дружинин В.П.	5, 7, 8, 105, 106, 184, 194, 197, 206, 207, 208, 210, 218, 219, 228, 237, 241, 243, 246, 247, 248, 250, 251, 258, 261, 263, 264, 265, 352, 356, 511, 512, 513, 514, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 37п, 38п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п	Зубарев П.В.	615
Дубровин А.Н.	526	Зуев В.В.	3п, 12п
Елисеев А.А.		Иваненко В.Г.	471
Еманов Ф.А.		Иваненко С.В.	614
Емелёв И.С.		Иванов А.А.	92, 107, 126, 136, 138, 140, 166, 450, 451, 454, 470, 473, 476, 477, 489, 494, 495, 603, 609, 613, 648, 649, 650, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685
Ерофеев А.Л.	101	Иванов А.В.	97, 137, 438, 440, 506, 507, 665, 667
Ерохин А.И.	529, 531, 532, 534, 544, 548, 654, 665	Иванов Иван А.	11, 454, 468, 469, 471, 472, 473, 628, 629, 631, 634, 639, 642, 643, 683
Ерохов В.Н.	464	Иванов Игорь А.	123
Жаринов Ю.М.	486, 651	Иванова А.А.	
Жилич В.Н.	90, 190, 193, 198, 209, 213, 216, 221, 234, 238, 242, 253, 254, 255, 257, 259, 262, 267, 268, 269, 318, 335, 345, 348, 349, 350, 357, 376, 402, 444, 464, 485, 487, 584, 585, 586, 567, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Иванцовский М.В.	11, 108, 454, 465, 469, 471, 476, 628
Жиров О.В.	54, 87, 22п	Ивлюшкин Д.В.	
Жмака А.И.	464, 6п	Игнатов Ф.В.	101, 111, 151, 304, 341, 484, 28п, 29п
Жмуриков Е.И.	74	Ильин И.В.	547
Жуланов В.В.	15, 25, 35, 71, 90, 190, 193, 198, 234, 242, 253, 255, 257, 262, 267, 268, 289, 335, 349, 350, 402, 436, 437, 444, 485, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Кадыров Р.А.	544, 654, 655, 656, 657, 658, 659
Журавлев А.Н.	464, 487, 550, 551, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Казанин В.Ф.	75, 114, 130, 131, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 236, 239, 240, 256, 270, 272, 274-276, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 304, 311, 312, 313, 314, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 501, 502, 503, 504, 505
Заверткин П.С.		Калинин П.В.	27, 432, 466, 468, 472, 473, 605, 606
Зайцев К.Ф.	122, 450, 451, 453, 603, 610, 613	Каминский В.В.	336, 464, 31п
Запрягаев И.А.		Кандауров И.В.	123, 468, 471, 473, 475, 476, 477, 479, 628, 629, 630, 631, 636, 642
Запяткин Н.П.	665	Каныгин В.В.	490, 662
Зеваков С.А.		Капитонов В.А.	107, 649, 679, 682
Землянский И.М.	7, 8, 250, 486, 579, 580, 581, 582, 583, 651, 5п, 7п	Каплин В.И.	1п
Зинин Э.И.		Кардапольцев Л.В.	5, 7, 8, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 38п, 11А
Золотарев К.В.	464, 530, 624, 11п	Карнаев С.Е.	464, 487, 529, 534, 539, 544, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599,

	600, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 27п	Кондауров М.Н.	454, 665, 666
Карпов Г.В.	90, 444, 464, 487, 508, 545, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 653, 665, 27п	Кондратьев В.И.	18, 31, 173, 176, 435
Карпов И.Е.	499, 629	Кононов С.А.	6, 90, 100, 102, 103, 110, 112, 113, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 27п, 37п
Карпов С.В.	90, 101, 304, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Константинов В.М.	550
Касаев А.С.	5, 651, 5п	Константинов Е.С.	443, 669, 670
Касатов А.А.	108, 123, 471, 476, 538, 628, 642	Константинов С.Г.	648
Касатов Д.А.	489, 661, 662, 663, 664	Кооп И.А.	5, 7, 8, 49, 250, 304, 486, 535, 579, 580, 581, 582, 583, 651, 652, 5п, 7п, 31п, 38п
Касьяненко П.В.		Корепанов А.А.	135, 164, 481, 527, 533
Катков В.М.	26п	Коржавина М.С.	450, 453, 603, 610, 613
Квашнин А.Н.	109, 609, 614, 615, 1п	Коробейников М.В.	81, 537
Кенжебулатов Е.К.		Коробейникова О.А.	608, 616
Ким Д.О.		Король А.А.	5, 7, 8, 105, 114, 130, 131, 144-150, 152, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 236, 239, 240, 250, 256, 270, 272, 274, 275, 276, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 311-314, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 501, 502, 503, 504, 505, 517, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 31п, 38п
Кирпотин А.Н.	5, 486, 651, 5п	Корчагин А.И.	172, 463, 620
Киселев В.А.	464, 487, 529, 533, 534, 545, 546, 548, 550, 551, 584, 385, 386, 387, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 645, 6п, 27п	Косов А.В.	37
Кискаев А.И.	662	Котельников А.И.	
Кичигин А.И.	661, 662	Котельников И.А.	13, 40, 46, 82, 86, 88, 428, 553, 556, 680
Клюев В.Ф.	443, 669, 670	Котов К.Ю.	72, 90, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Князев Б.А.	13, 40, 46, 82, 86, 165, 428, 431, 442, 553, 555, 556, 557, 559, 671	Кошуба С.В.	5, 7, 8, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 31п, 38п
Кобец В.В.	546, 548, 549, 649	Кравченко Е.А.	6, 90, 100, 102, 103, 105, 106, 110, 112, 113, 184, 188, 194, 197, 206, 207, 208, 210, 218, 219, 228, 237, 241, 243, 246, 247, 248, 251, 258, 261, 263, 264, 265, 352, 356, 444, 464, 487, 511, 512, 513, 514, 584, 585, 586, 587, 588, 590, 591, 592, 593,
Коваленко О.Ф.	101		
Коваленко Ю.В.	449, 450, 453, 603, 605, 606, 613, 614		
Коврижин Д.П.	5, 7, 8, 250, 579-583, 5п, 7п, 38п		
Когут Д.А.	460, 463		
Козак В.Р.	557, 665, 671		
Козлов М.Г.	2, 572, 7А		
Козырев А.Н.	101, 304		
Козырев Е.В.	28, 557, 671		
Койсин Ю.И.	665		
Колесников Е.Ю.			
Колмогоров А.В.			
Колмогоров В.В.	487, 499, 531, 532, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 649, 679, 681, 683, 684, 685, 27п, 4А		
Колобанов Е.И.	557, 561, 671		
Кондаков А.А.	28, 557, 649, 671, 679		

	594, 595, 596, 597, 598,	Кузнецов Г.И.	135, 164, 644
	599, 600, 602, 27п, 37п,	Кузнецов С.А.	11, 17, 27, 441, 462, 468,
	42п, 43п, 44п, 45п, 46п,		471, 472, 476, 606, 628,
	48п, 49п, 50п, 51п, 52п,	Кузьменко А.Е.	631, 633, 639, 643
	53п, 54п, 55п, 56п, 57п,	Кузьмин А.С.	75, 304
	58п, 59п, 60п, 61п, 62п,		90, 101, 190, 198, 213,
	63п		234, 238, 242, 253, 254,
Краснов А.А.	31п		255, 257, 262, 267, 268,
Кремнев А.А.	531		289, 304, 317, 318, 335,
Кремнев Н.С.	464		345, 349, 357, 376, 402,
Кривашин Д.С.			444
Кроковный П.П.	80, 115, 117, 118-120,	Кузьминых В.С.	486
	153, 155, 179, 181, 190,	Куклин К.Н.	471, 476, 628, 634
	193, 198, 201, 209, 212,	Куксанов Н.К.	84, 172, 460, 463, 620
	213, 214, 215, 216, 217,	Куликов В.Ф.	90, 444, 487, 584, 585,
	222, 231, 232, 234, 235,		586, 587, 588, 591, 592,
	238, 242, 249, 252, 253,		593, 594, 595, 596, 597,
	254, 255, 259, 260, 262,		598, 599, 600, 27п
	267, 268, 269, 277, 288,	Кулипанов Г.Н.	18, 41, 46, 49, 66, 78, 79,
	289, 295, 302, 303, 304,		82, 83, 173, 433, 464,
	306, 307, 308, 309, 310,		553, 557, 559, 671
	315, 318, 320, 321, 323,	Купер К.Э.	
	326, 329, 333, 335, 337,	Купер Э.А.	90, 444, 464, 487, 557,
	340, 342, 343, 344, 345,		584, 585, 586, 587, 588,
	346, 348, 349, 350, 351,		591, 592, 593, 594, 595,
	353, 354, 357-360, 363,		596, 597, 598, 599, 600,
	364, 368, 374, 375, 376,		671, 27п
	377, 378, 380, 385, 386,	Купич А.С.	5, 7, 8, 579, 580, 581,
	387, 389, 390, 391, 394,		582, 583, 5п, 7п
	395, 396, 397, 402, 403,	Купцов И.В.	557, 561, 671
	404, 406, 408, 409, 412,	Куркин Г.Я.	464, 487, 545, 557, 561,
	413, 417, 418, 419, 461,		584, 585, 586, 587, 588,
	520		591, 592, 593, 594, 595,
Крутихин С.А.	545, 557, 561, 671, 6п		596, 597, 598, 599, 600,
Крючков А.М.	665		671, 6п, 27п
Крючков Я.Г.		Куркучеков В.В.	123, 468, 471, 475, 476,
Кубарев В.В.	77, 78, 83, 178, 524, 553,		477, 628, 629, 630, 631,
	557, 559, 671		642
Кудрявцев В.Н.	80, 90, 115, 117, 118,	Куянов И.А.	103
	120, 120, 153, 155, 179,	Лаврухин А.В.	463, 620
	181, 201, 212, 214, 215,	Лапик Р.М.	
	217, 222, 231, 232, 235,	Лебедев Н.Н.	
	249, 252, 277, 288, 295,	Лев В.Х.	
	302, 303, 306, 307, 308,	Левичев А.Е.	167, 482, 483
	309, 310, 315, 320, 321,	Левичев Е.Б.	49, 90, 444, 464, 487,
	323, 326, 329, 333, 337,		526, 529, 534, 543, 545,
	340, 342, 343, 344, 346,		546, 584, 585, 586, 587,
	351, 353, 354, 358, 359,		588, 591, 592, 593, 594,
	360, 363, 364, 368, 374,		595, 596, 597, 598, 599,
	375, 378, 380, 385-387,		600, 623, 624, 1п, 6п,
	389, 390, 391, 394, 395,		11п, 27п, 30п, 37п
	396, 397, 403, 404, 406,	Легкодымов А.А.	20, 48, 173
	408, 409, 412, 413, 417,	Лемзяков А.Г.	19, 176
	418, 419, 444, 461, 485,	Леонов В.В.	480
	487, 584, 585, 586, 587,	Ли Р.Н.	382, 414, 25п, 1А
	588	Лизунов А.А.	64, 450, 451, 453, 603,
Кузин М.В.			609, 610, 613, 614, 615,
Кузнецов А.С.	16, 136, 166, 488, 489,		9А
	538, 661, 662, 663, 664		

Лисицын А.Д.	665	Мартин К.А.	5, 6, 7, 8, 102, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 38п
Листопад А.А.	683	Мартышкин П.В.	3п, 12п
Логачев П.В.	135, 164, 481	Масленников А.Л.	90, 114, 130, 131, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 236, 239, 240, 256, 270, 272, 274, 275, 276, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 311, 312, 313, 314, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 444, 487, 501, 502, 503, 504, 505, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Логашенко И.Б.	101, 304		
Лопаткин И.А.	665	Матвеев А.Н.	213, 216, 221, 234, 238, 242, 253-255, 257, 259, 262, 268, 269, 289, 318, 335, 345, 348, 349, 350, 357
Лотов К.В.	1, 60, 61, 93, 125, 127, 525, 567, 569, 570, 571, 13п, 14п, 15п, 16п, 17п, 18п	Матвиенко Д.В.	173
		Машковцев М.Р.	557, 671
Лукин А.Н.		Медведев Л.Э.	634
Лукин П.А.	209, 221, 238, 242, 253, 254, 255, 257, 259, 262, 267, 268, 269, 304, 318, 348, 349, 357, 402	Медведева А.А.	90, 444, 464, 532, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 665, 27п
		Медведко А.С.	175, 429, 430, 522, 523, 530
Лысенко А.П.	250, 304, 486, 651, 5п, 38п	Мезенцев Н.А.	11, 123, 468, 469, 471, 472, 475, 476, 628, 629, 631, 634, 639, 642, 643
Макаров А.Н.	76, 169, 421, 488, 492, 538, 661, 662, 663, 664, 8п	Меклер К.И.	464, 465, 487, 545, 565, 566, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 653, 668, 6п, 27п
		Мешков О.И.	447
Макаров И.Г.		Мигинский С.В.	545, 6п
Макаров М.А.	472, 639, 468	Микайылов А.И.	55, 85, 298, 23п
Макеев А.В.	657	Мильштейн А.И.	464, 557, 671
Максимов В.В.	450, 451, 453, 603, 604, 611, 613	Мироненко Л.А.	553
		Митьков М.С.	
Максимов Д.А.	90, 114, 130, 131, 145, 147, 148, 149, 152, 154, 159, 182, 185, 202, 203, 227, 229, 236, 239, 256, 270, 272, 279, 284, 285, 287, 291, 297, 300, 301, 311, 312, 313, 314, 339, 361, 366, 369, 371, 372, 373, 379, 381, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 444, 466, 487, 501-505, 584-588, 591-600, 27п	Митянина Н.В.	101, 304
		Михайлов К.Ю.	
Максимовская В.В.	14	Михайлов М.И.	107, 451, 495, 680, 683
Малышев В.М.	90, 114, 130, 131, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 236, 239, 240, 256, 270, 272, 274, 276, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 311-313, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 444, 487, 501, 502, 503, 504, 505, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Мишагин В.В.	464, 487, 545, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
		Мишнев С.И.	
Мальцева Ю.И.			
Мамкин В.Р.	665		



	598, 599, 600, 27п		210, 218, 219, 228, 237,
Морозов И.И.	464, 487, 584, 585, 586,		241, 243, 246, 247, 248,
	587, 588, 591, 592, 593,		251, 258, 261, 263, 264,
	594, 595, 596, 597, 598,		265, 352, 356, 444, 464,
	599, 600, 27п		487, 511, 512, 513, 514,
Морозов Р.А.	661, 662, 663		584, 585, 586, 587, 588,
Мурасев А.А.			590, 591, 592, 593, 594,
Мураштин С.В.	449, 450, 603, 608, 613		595, 596, 597, 598, 599,
Мучной Н.Ю.	90, 141, 142, 143, 183,		600, 27п, 37п, 42п, 43п,
	186, 187, 189, 192, 195,		44п, 45п, 46п, 48п, 49п,
	196, 199, 204, 205, 220,		50п, 51п, 52п, 53п, 54п,
	223, 224, 226, 230, 233,		55п, 56п, 57п, 58п, 59п,
	244, 245, 266, 271, 273,		60п, 61п, 62п, 63п
	328, 336, 347, 367, 444,	Орешкин С.Б.	90, 444, 487, 584, 585,
	464, 487, 584, 585, 586,		586, 587, 588, 591, 592,
	587, 588, 591, 592, 593,		593, 594, 595, 596, 597,
	594, 595, 596, 597, 598,		598, 599, 600, 27п
	599, 600, 27п, 31п, 32п,	Орешонок В.В.	
	33п, 34п, 35п, 36п	Орлов И.О.	90, 130, 144-146, 148,
Мыскин О.К.	451		149, 150, 159, 160, 185,
Нейфельд В.В.	464, 487, 545, 584, 585,		188, 191, 202, 203, 225,
	586, 587, 588, 591, 592,		229, 240, 275, 276, 279,
	593, 594, 595, 596, 597,		283, 284, 285, 286, 290,
	598, 599, 600, 6п		293, 296, 300, 325, 327,
Немытов П.И.	172, 463, 620		369, 370, 371, 372, 379,
Нестеренко И.Н.	91, 96, 250, 465, 486		381, 384, 392, 444, 487,
Нехаев В.Е.			503, 584, 585, 586, 587,
Никитин С.А.	90, 444, 487, 545, 584,		588, 591, 591, 592, 593,
	585, 586, 587, 588, 591,		594, 595, 596, 597, 598,
	592, 593, 594, 595, 596,		599, 600
	597, 598, 599, 600, 6п,	Осипов А.А.	90, 444, 487, 584, 585,
	27п		586, 587, 588, 591, 592,
Никифоров Д.А.			593, 594, 595, 596, 597,
Николаев И.Б.	90, 141, 143, 183, 186,		598, 599, 600
	187, 189, 192, 195, 196,	Осипов А.В.	27п
	199, 204, 205, 220, 223,	Осипов В.Н.	561
	224, 226, 230, 233, 244,	Отбоев А.В.	486
	245, 266, 271, 273, 328,	Оттмар А.В.	
	347, 367, 444, 464, 487,	Павленко А.В.	547, 548, 550, 551
	545, 584, 585, 586, 587,	Павлов В.М.	135, 164, 486
	588, 591, 592, 593, 594,	Панасюк В.М.	97, 137, 438, 440, 665,
	595, 596, 597, 598, 599,		666, 667, 668
	600, 27п, 32п, 33п, 34п,	Панов А.Н.	527
	35п, 36п	Панфилов А.Д.	
Николенко А.Д.	95, 163, 425	Панченко В.Е.	
Николенко Д.М.	94, 464, 485	Папушев П.А.	
Образовский А.Е.	5, 7, 8, 250, 579, 580,	Пархомчук В.В.	49, 97, 137, 438, 440,
	581, 582, 583, 5п, 7п, 38п		443, 515, 665, 666, 667,
			668, 669, 670
Овтин И.В.	103	Пахтусова Е.В.	5, 7, 8, 250, 579, 580,
Овчар В.К.	557, 671		581, 582, 583, 5п, 7п, 38п
Огурцов А.Б.		Пачков А.А.	527
Окунев И.Н.	464, 487, 546, 548, 549,	Пелеганчук С.В.	72, 90, 114, 130, 131,
	584, 585, 586, 587, 588,		144, 145, 146, 147, 148,
	591, 592, 593, 594, 595,		149, 150, 152, 154, 159,
	596, 597, 598, 599, 600,		160, 168, 182, 185, 188,
	27п		191, 202, 203, 225, 227,
Онучин А.П.	6, 90, 100, 102, 103, 105,		229, 236, 239, 240, 256,
	106, 110, 112, 113, 184,		
	194, 197, 206, 207, 208,		

	270, 272, 274, 275, 276, 279, 283-287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 311, 312, 313, 314, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 444, 487, 501, 502, 503, 504, 505, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 4п, 27п		277, 288, 295, 302, 303, 306, 307, 308, 309, 310, 315, 320, 321, 326, 329, 333, 337, 340, 342, 343, 344, 346, 351, 353, 354, 358, 359, 360, 363, 364, 368, 374, 375, 377, 378, 380, 385, 386, 387, 389, 391, 394, 395, 396, 397, 403, 404, 406, 408, 409, 412, 413, 417, 418, 419, 444, 461, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Переведенцев Е.А.	49, 62, 63, 250, 304, 336, 486, 651, 652, 31п, 38п	Полянский А.В.	464, 467, 529, 534, 546, 549
Пестов Ю.Н.	58, 59, 101, 129, 156, 158, 180, 211, 278, 281, 282, 292, 294, 299, 304, 305, 316, 319, 322, 324, 330, 332, 338, 355, 362, 365, 398	Померанский А.А.	414
Пестриков Д.В.	9, 10, 34	Попик В.М.	42, 426, 427, 557, 559, 671
Петренко А.В.	564, 646, 647, 15п	Попов А.С.	151, 304, 341, 484, 28п, 29п
Петриченков М.В.	558	Попов С.С.	11, 88, 108, 123, 471, 472, 476, 628, 631, 642, 649
Петров В.В.	464, 487, 550, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 3п, 12п, 27п	Попов Ю.С.	304
Петров В.М.	28, 557, 561, 671	Попова Н.И.	
Петрожицкий А.В.	443, 670	Поросев В.В.	480
Пивоваров И.Л.		Поступаев В.В.	11, 108, 123, 454, 465, 468, 469, 471, 472, 473, 475, 476, 628, 630, 631, 634, 639, 642, 643
Пивоваров С.Г.	90, 304, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Потапов С.И.	532
Пилан А.М.	28, 557, 561, 671	Присекин В.Г.	90, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Пиминов П.А.	464, 487, 543, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 624, 11п, 27п	Приходько В.В.	92, 450, 451, 452, 453, 603, 607, 610, 612, 613 651
Пиндюрин В.Ф.	19, 163, 425	Просветов В.П.	665
Пинженин Е.И.	450, 453, 603, 611, 613	Протопопов А.Ю.	679, 680
Пирогов С.А.	304	И.А. Прохоров	464, 467, 526, 546
Плотникова О.А.	464, 1п	Пупков Ю.А.	531, 532, 665, 667
Подобаев В.С.		Пурескин Д.Н.	109
Полетаев И.В.	425, 665	Пурьга Е.А.	665, 667
Полосаткин С.В.	11, 68, 107-109, 123, 126, 133, 140, 169, 170, 454, 468, 469, 471, 473, 475, 476, 628, 629, 630, 631, 634, 638, 639, 642, 8п	Путьмаков А.А.	336, 31п
Полухин В.А.	665	Пята Е.Э.	
Полуэктов А.О.	80, 90, 115, 117, 118, 119, 120, 153, 155, 157, 179, 181, 201, 212, 214, 215, 217, 222, 231, 232, 235, 249, 252, 253, 260,	Радченко В.М.	101
		Разуваев Г.П.	22, 29, 30, 174, 422, 423
		Ракшун Я.В.	443, 669, 670
		Растигеев С.А.	485
		Рачек И.А.	
		Ращенко В.В.	
		Рева В.Б.	97, 137, 438, 440, 466, 515
		Редин С.И.	304
		Резникова Е.Ф.	18, 19, 435
		Резниченко А.В.	3

Репков В.В.	557, 558, 671	582, 583, 5п, 7п, 37п,
Ровенских А.Ф.	11, 109, 123, 468, 469, 471, 472, 475, 476, 477, 628, 629, 630, 631, 639, 642, 643	38п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п
Роговский Ю.А.	5, 7, 8, 304, 486, 579-583, 651, 5п, 7п	Середняков С.С. 539, 553, 557, 563, 655, 656, 658, 659, 671
Родионов Д.Г.	553, 556	Сидоров А.В.
Родякин В.А.	90, 444	Сидоров И.В.
Романов А.Л.	250, 304, 486, 651, 652, 5п, 38п	Силагадзе З.К. 5, 7, 8, 43, 250, 445, 579- 583, 5п, 7п, 38п
Ротов Е.А.	464	Симонов Е.А. 464, 487, 544, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 654, 655, 656, 658, 659, 27п
Рубан А.А.	90, 101, 304, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Сингатулин Ш.Р.
Рувинский Е.С.	526	Синицкий С.Л. 11, 27, 432, 454, 466, 468, 469, 471, 472, 473, 634, 639, 664
Руденко А.С.	576, 577, 578	Синяткин С.В. 464, 487, 526, 529, 533, 534, 544, 546, 548, 549, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 624, 645, 654, 11п, 27п
Рыбицкая Т.В.		Скарбо Б.А.
Рыжененков А.Е.	101, 304	Скляров В.Ф. 11, 123, 471, 472, 476, 628, 631, 639, 642, 643
Рыскулов Н.М.	304	Сковородин Д.И. 122, 496
Савинов Г.А.	90, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Сковпень К.Ю. 5, 7, 8, 114, 130, 131, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 236, 239, 240, 250, 256, 270, 272, 274, 245, 276, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 311, 312, 313, 314, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 501, 502, 503, 504, 505, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п
Савкин В.Я.	64, 449, 450, 451, 453, 603, 605, 606, 613, 614, 650	Сковпень Ю.И. 90, 105, 106, 184, 194, 197, 206, 207, 208, 210, 218, 219, 228, 237, 241, 243, 246, 247, 248, 251, 258, 261, 263, 264, 265, 352, 356, 444, 511-514, 37п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п
Саликова Т.В.	177, 553, 557, 558, 562, 671	
Салимов Р.А.	84, 172, 463, 620	
Сальников С.Г.	85, 23п, 6А	
Сандырев В.К.	464, 487, 584-588, 591- 600, 27п	
Санин А.Л.	648, 649, 650	
Свищёв В.В.	464	
Седяров И.К.	464, 561, 671	
Селиванов А.Н.		
Селиванов П.А.	665	
Семенов А.В.	620	
Семенов А.М.	529, 534	
Семенов А.И.		
Семенов Е.П.	550, 665	
Семенов Ю.И.		
Сенченко А.И.	651	
Сеньков Д.В.	531, 532, 550, 551, 665, 667	
Сердаков Л.Е.	467, 546, 549	
Сердобинцев Г.В.		
Середняков С.И.	5, 6, 7, 8, 49, 53, 102, 105, 106, 184, 194, 197, 206, 207, 208, 210, 218, 219, 228, 237, 241, 243, 246, 247, 248, 250, 251, 258, 261, 263, 264, 265, 352, 356, 511, 512, 513, 514, 557, 579, 580, 581,	

Скоробогатов Д.Н.	665, 667	Сурин И.К.	5, 7, 8, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 38п
Скринский А.Н.	5, 7, 8, 41, 49, 66, 79, 90, 250, 444, 464, 486, 487, 557, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 651, 671, 5п, 7п, 27п, 38п	Суханов А.В.	526
Смалюк В.В.	90, 444, 464, 528, 529, 534, 544, 565, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 653, 654, 27п	Суханов Д.П.	464
Снопков Р.Г.	90, 168, 444, 4п	Сухарев А.М.	90, 114, 130, 131, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 239, 240, 256, 270, 272, 274, 275, 276, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 311, 312, 313, 314, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 444, 487, 501, 502, 503, 504, 505, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Соколов А.В.	90, 104, 134, 168, 169, 439, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 4п, 8п, 22п, 27п	Сухина Б.Н.	
Соколов В.В.	280, 573, 574, 575	Сыроватин В.М.	530
Солдаткина Е.И.	73, 448, 450, 451, 453, 603, 604, 613	Тальшев А.А.	90, 101, 103, 114, 130, 131, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 236, 239, 240, 256, 270, 272, 274, 275, 276, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 304, 311-314, 325, 327, 339, 361, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 379, 381, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 444, 487, 501, 502, 503, 504, 505, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Солдатов А.Е.	163		
Солодов Е.П.	99, 101, 105, 106, 184, 194, 197, 206, 207, 208, 210, 218, 219, 228, 237, 241, 243, 246, 247, 248, 251, 258, 261, 263, 264, 265, 304, 352, 356, 511, 512, 513, 514, 37п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п		
Соломахин А.Л.	449, 450, 451, 453, 603, 605, 606, 613, 614		
Сорокин А.В.	495, 649		
Сорокин И.Н.	16, 136, 166, 488, 489, 538, 661, 679, 682		
Сорокина Н.В.	471		
Сороколетов Д.С.	174		
Соседкин А.П.	18п	Тарарышкин С.В.	464, 557, 671
Станкевич А.С.		Тарнецкий В.В.	
Старостенко А.А.		Таскаев С.Ю.	16, 76, 136, 166, 169, 421, 488, 489, 490, 491, 492, 538, 660, 661, 662, 663, 664, 8п
Старостенко Д.А.	135, 164, 481	Таюрский В.А.	90, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Старостина Е.В.	464, 465, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Тельнов В.И.	90, 105, 334, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 672, 673, 674, 675, 676,
Степанов В.Д.	27, 432, 471, 472, 466		
Стрельников Н.О.	65		
Ступишин Н.В.	140, 493, 495, 649, 684		
Стюф А.С.	508		
Судников А.В.	123, 471, 475, 476, 628, 630, 642, 10А		
Суляев Ю.С.	109, 123, 471, 628, 642		

	677, 678, 27п, 39п, 40п, 41п		345, 349, 350, 402, 444, 487, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 5п,7п, 27п
Терехов И.С.			
Тимофеев И.В.	33, 124, 128, 454, 471, 472, 500, 2А		
Титов В.М.	15, 25, 71, 101, 304, 436		
Тиунов М.А.	16, 107, 451, 488, 538, 648, 649, 650	Уткин А.В.	
Тихонов Ю.А.	5, 7, 8, 72, 90, 114, 130, 131, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 154, 159, 160, 182, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 227, 229, 236, 239, 240, 250, 256, 270, 272, 275, 276, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 290, 291, 293, 296, 297, 300, 301, 311-314, 325, 327, 339, 361, 363, 369-373, 379, 381, 384, 388, 392, 393, 399, 405, 407, 410, 411, 416, 444, 464, 487, 501, 502, 503, 504, 505, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 5п, 7п, 27п, 38п 498, 679, 682	Утюпин И.Ф.	464
Ткачев А.А.		Фадеев С.Н.	172, 460, 463, 620, 621, 622
Ткаченко В.О.		Фадин В.С.	47, 49, 70, 116, 121, 518, 2п
Тодышев К.Ю.	90, 105, 106, 184, 194, 197, 206, 207, 208, 210, 218, 219, 228, 237, 241, 243, 246, 247, 248, 251, 258, 261, 263, 264, 265, 352, 356, 444, 487, 511, 512, 513, 514, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п, 42п, 43п, 44п, 45п, 46п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п, 55п, 56п, 57п, 58п, 59п, 60п, 61п, 62п, 63п	Факторович Б.Л.	
Толочко Б.П.	15, 25, 32, 35, 71, 162, 436, 437, 521	Фатькин Г.А.	135, 164
Топорков Д.К.	464, 465	Федотов М.Г.	14, 21, 509, 510, 665, 668
Трибендис А.Г.	41, 66, 79, 557, 561, 671	Федотович Г.В.	304, 485
Трунев Ю.А.	123, 451, 471, 473, 475, 476, 477, 628, 629, 630, 631, 642	Фельдман А.Л.	
Тумайкин Г.М.	49, 464, 487, 545, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 6п, 27п	Филипченко А.В.	
Усов Ю.В.	5, 7, 8, 90, 209, 213, 234, 257, 259, 262, 318, 335,	Фролов А.Р.	443, 670
		Хавин Н.Г.	
		Хазин Б.И.	49, 101, 151, 341, 466, 484, 28п, 29п
		Харламов А.Г.	5, 7, 8, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 38п
		Харламова Т.А.	90, 444, 487, 584, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п 69, 24п
		Хацимовский В.М.	
		Хильченко А.Д.	109, 464, 609, 614, 615
		Хильченко В.А.	615
		Холопов М.А.	552
		Хриплович И.Б.	43, 49, 415, 576, 577, 578
		Хрущев С.В.	
		Цидулко Ю.А.	126, 452, 454, 497, 519, 607, 612
		Цуканов В.М.	175, 464
		Цыганов А.С.	
		Чакин И.К.	459, 619
		Чабанов А.П.	6п
		Чеблаков П.Б.	539, 544, 654, 655, 656, 657, 658, 659
		Чекавинский В.А.	665, 667
		Черепанов В.П.	464
		Черепков В.Г.	620
		Чернов К.Н.	
		Черноштанов И.С.	497
		Черняк В.Л.	19п
		Чернякин А.Д.	550, 551
		Ческидов В.Г.	557, 665, 668, 671
		Чопорова Ю.Ю.	165, 431, 442, 553, 555, 556
		Чудаев В.Я.	489
		Чупыра А.Г.	
		Чуркин И.Н.	464
		Шамов А.Г.	90, 130, 144-150, 159, 160, 185, 188, 191, 202, 203, 225, 229, 240, 274-276, 279, 283-286, 290,

	293, 296, 300, 325, 327, 369, 370, 371, 372, 379, 381, 392, 444, 464, 487, 503, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Шиховцев И.В.	138, 648, 649, 679, 680, 681, 682
		Шиянков С.В.	135, 164, 464, 529
		Шкаруба В.А.	
		Шошин А.А.	454, 469, 471, 473, 474, 628, 634, 635, 640
		Штарклев Е.А.	
Шатилов Д.Н.	464, 487, 545, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 623, 625, 626, 6п, 27п, 30п, 15А	Штоль Д.А.	5, 7, 8, 98, 100, 110, 112, 113, 250, 579, 580, 581, 582, 583, 5п, 7п, 37п, 38п 464
Шатунов П.Ю.	7, 8, 250, 304, 486, 580, 581, 582, 583, 651, 5п, 31п, 38п	Шубин Е.И.	464
		Шукаев А.Н.	7п
Шатунов Ю.М.	5, 7, 8, 250, 304, 336, 486, 579, 580, 581, 582, 583, 651, 5п, 7п, 31п, 38п	Шульженко Г.И.	451, 683
		Шушаро А.И.	90, 444
Шварц Б.А.	90, 101, 190, 193, 198, 213, 234, 238, 253, 254, 255, 257, 267, 268, 269, 289, 304, 317, 318, 335, 345, 348, 349, 350, 357, 402, 444, 487, 584, 585, 586, 587, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п	Щеглов М.А.	78, 427, 553, 557, 559, 561, 671
		Щудло И.М.	16, 488, 538, 661, 662, 663, 664
Шварц Д.Б.	5, 7, 8, 304, 486, 579, 580, 581, 582, 583, 651, 652, 5п, 7п, 31п, 14А	Эйдельман С.И.	80, 115, 117-120, 126, 153, 155, 179, 181, 190, 193, 198, 201, 209, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 221, 222, 231, 232, 234, 235, 238, 242, 249, 252-255, 257, 259, 260, 262, 267-269, 277, 288, 289, 295, 302, 303, 304, 306, 307, 308, 309, 310, 315, 318, 320, 321, 323, 326, 329, 333, 335, 337, 340, 342-346, 348, 349, 350, 351, 353, 354, 357-360, 363, 364, 368, 374, 375, 376, 377, 378, 380, 385, 386, 387, 389, 390, 391, 394, 395, 396, 397, 402, 403, 404, 406, 408, 409, 412, 413, 417, 418, 419, 461, 487, 584, 385, 386, 387, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 27п
Шведов Д.А.	464, 533	Эйдельман Ю.И.	
Шебалин В.Е.	101, 198, 234, 238, 242, 253, 304, 345	Эпштейн Л.Б.	101, 304
Шевченко О.А.	23, 41, 66, 78, 79, 433, 434, 553, 557, 558, 559, 560, 568, 671	Юдин Ю.В.	75, 101, 151, 304, 341, 484, 28п, 29п
Шемякин В.Н.	101, 304	Юров Д.В.	452, 603, 607, 612
Шемякина Е.О.	104, 134, 168, 439, 4п	Юшков А.Н.	90, 105, 106, 184, 194, 197, 206, 207, 208, 210, 218, 219, 228, 237, 241, 243, 246, 247, 248, 251, 258, 261, 263-265, 352, 356, 444, 487, 584, 385, 386, 387, 588, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 42п
Шеромов М.А.	37	Яковлев Д.В.	605, 606
Шестаков Ю.В.		Яминов К.Р.	
Шехтман Л.И.	15, 25, 35, 71, 80, 90, 115, 117, 118, 119, 120, 153, 155, 168, 169, 171, 179, 181, 201, 212, 214, 215, 217, 222, 231, 232, 235, 249, 252, 260, 277, 288, 295, 302, 303, 306, 307, 308, 309, 310, 315, 320, 321, 323, 326, 329, 333, 337, 340, 342, 343, 344, 346, 351, 353, 354, 358, 359, 360, 363, 364, 368, 374, 375, 377, 378, 380, 385, 386, 387, 389, 390, 391, 395, 396, 397, 403, 404, 406, 408, 409, 412, 413, 417, 418, 419, 436, 437, 444, 461, 485, 4п, 8п	Яровой В.А.	477, 629

