

Учреждение Российской Академии наук  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА СО РАН

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ

2010

НОВОСИБИРСК 2011

# 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	16
1.2.1 Модернизация СНД и первые результаты экспериментов на ВЭПП-2000	16
1.2.2 Обработка данных с ВЭПП-2М	18
1.2.3 Участие в международных проектах	19
1.3 Детектор КЕДР	20
1.3.1 Детекторы на основе ГЭУ включены в СРРЭ	20
1.3.2 Начала работать система лазерной калибровки СРРЭ детектора	21
1.3.3 Вдвое снижен расход жидкого гелия в криогенной системе детектора	21
1.4 Результаты работы детектора КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М в 2010 году	22
1.4.1 Измерение параметров $J/\psi$ -мезона	22
1.4.2 Измерение параметров $\psi(2S)$ -мезона	23
1.4.3 Измерение параметров $\psi(3770)$ -мезона	25
1.4.4 Измерение массы $\tau$ -лептона	25
1.4.5 Поиск узких резонансов	26
1.5 Детекторы для ФВЭ	27
1.6 Рентгеновские детекторы	27
1.7 Прочие работы	27
1.8 Микроструктурные газовые детекторы	28
1.8.1 Криогенные двухфазные лавинные детекторы на основе ТГЭУ	28
1.8.2 Модернизация системы рассеянных электронов в эксперименте КЕДР	29
1.8.3 Газовый детектор низкого давления на основе ТГЭУ	31
1.8.4 Участие в коллаборациях	31
1.9 Участие ИЯФ в ЛНСб в 2010 году	32
1.9.1 Техническое обеспечение работы ЛНСб	32
1.9.2 Физические результаты	33
1.10 Эксперимент Belle	37
1.10.1 Основные результаты	37
1.10.2 Анализ данных эксперимента Belle	37
1.10.3 Модернизация детектора	43
1.11 Эксперимент BABAR	46
1.12 Участие в эксперименте ATLAS на Большом Адронном Коллайдере (ЛHC)	47
1.13 Фотонный коллайдер	49
<b>2. Электро- и фотоядерная физика</b>	<b>51</b>
2.1 Эксперименты с внутренними мишенями	53
<b>3. Теоретическая физика</b>	<b>55</b>
3.1 Сильное взаимодействие	57
3.2 CP несохранение	61
3.3 Квантовая электродинамика	61
3.4 Гравитация	64
3.5 Астрофизика	64
3.6 Нелинейная динамика и хаос, квантовые диссипативные системы	65

<b>4. Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез.....</b>	<b>69</b>
4.1 Результаты исследований на установке ГДЛ.....	71
4.1.1 Введение.....	71
4.1.2 Изучение движения плазмы при вихревом удержании.....	73
4.1.3 Предельно достижимая температура электронов и баланс энергии.....	75
4.1.4 Высокочастотные электромагнитные колебания.....	76
4.2 Теория плазмы.....	78
4.2.1 Равновесие и устойчивость плазмы.....	78
4.2.2 Динамическое удержание плазмы.....	78
4.2.3 Терагерцовое излучение.....	78
4.2.4 Заряженная плазма.....	78
4.2.5 Теория образования пыли в плазме.....	78
4.2.6 Теория плазменного кильватерного ускорения.....	78
4.2.7 Моделирование турбулентного нагрева плазмы мощным электронным пучком.....	79
4.3 Инжекторы пучков быстрых атомов и ионов.....	79
4.3.1 Инжекторы пучков быстрых атомов.....	79
4.3.2 Разработка мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода.....	79
4.4 Установка ГОЛ-3.....	80
4.4.1 Введение.....	80
4.4.2 Эксперименты по инъекции пучка с плавно нарастающей мощностью.....	81
4.4.3 Измерение функции распределения электронов.....	82
4.4.4 Изучение субтерагерцового излучения плазмы.....	84
4.4.5 Результаты магнитной диагностики плазмы.....	85
4.4.6 Эксперименты по исследованию стойкости вольфрама к облучению мощным потоком плазмы.....	86
4.4.7 Развитие диагностического комплекса.....	88
4.4.8 Получение мощных электронных пучков большой длительности в источнике с плазменным эмиттером.....	89
4.4.9 Заключение.....	90
<b>5. Установки со встречными электрон-позитронными пучками.....</b>	<b>91</b>
5.1 ВЭПП-2000 в 2009 году.....	93
5.1.1 Первый экспериментальный заход с детекторами СНД и КМД-3.....	93
5.1.2 Радиационная поляризация и калибровка энергии.....	94
5.1.3 Коррекция орбиты и магнитной структуры ВЭПП-2000.....	96
5.1.4 Оптимизация силы корректоров.....	98
5.1.5 Коррекция структуры ускорителя.....	99
5.1.6 Измерение светимости.....	101
5.1.7 Модернизация БЭП.....	103
5.2 Ускорительный комплекс ВЭПП-4.....	106
5.2.1 Распределение рабочего времени.....	106
5.2.2 Физика высоких энергий.....	107
5.2.3 Модернизация системы ОКР.....	108
5.2.4 Модернизация инжектора "Позитрон".....	109
5.2.5 Система продольной обратной связи ВЭПП-4М.....	111
5.2.6 Система контроля температуры.....	113
5.3 Инжекционный комплекс ВЭПП-5.....	114
5.4 Линейный индукционный ускоритель ЛИУ-2.....	119
5.5 Электронно-лучевая сварка.....	122
5.6 Разработка и выпуск катодов для электронных пушек.....	125
5.7 Работы по созданию электронного охлаждения с энергией пучка до 2 МэВ.....	128
5.8 Работы по ускорительному масс-спектрометру.....	129
5.9 Работы по развитию адронной терапии рака.....	130

5.10	Вакуумные системы.....	130
5.10.1	Высоковакуумное оптическое окно инфракрасного диапазона.....	130
5.10.2	Криогенное оборудование для испытаний ускоряющих модулей XFEL (DESY) .....	132
5.10.3	Вакуумная система бустера NSLS-II.....	135
5.11	Электронно-лучевой источник многозарядных ионов MIS-1 .....	137
5.12	Работы по электрон-позитронным фабрикам и физике пучков .....	139
5.13	Импульсивный магнит для позитронного источника Super-B фабрики КЕК.....	139
5.14	Работы по системам впуска-выпуска.....	141
<b>6.</b>	<b>Синхротронное излучение и лазеры на свободных электронах .....</b>	<b>143</b>
6.1.	Введение .....	145
6.2	Работы на пучках СИ из ВЭПП-3 .....	146
6.2.1	Станция "Экстремальные состояния вещества" .....	146
6.2.2	Станция "LIGA-технология и рентгеновская литография" .....	149
6.2.3	Станция "Аномальное Рассеяние" .....	152
6.2.4	Станция "Прецизионная Дифрактометрия" .....	155
6.2.5	Станция "Рентгенофлуоресцентный элементный анализ" .....	158
6.2.6	Станция "Дифрактометрия с использованием жесткого рентгеновского излучения " .....	161
6.2.7	Станция "Рентгеновская микроскопия и томография".....	164
6.2.8	Станция "Дифракционное кино".....	168
6.2.9	Станция "EXAFS -спектроскопия".....	170
6.2.10	Применение 9-канального ППД для флуоресцентной XAFS-спектроскопии.....	174
6.3	Работы на пучках СИ из ВЭПП-4 .....	177
6.3.1	Станция "Космос" .....	177
6.4	Работа с пучками терагерцового излучения.....	181
6.4.1	Новосибирский терагерцовый лазер на свободных электронах.....	181
6.3.2	Экспериментальные станции на пучках ТГц излучения .....	182
6.3.3	Вторая очередь Новосибирского ЛСЭ .....	200
6.3.4	Результаты 2010 года и планы на 2011 год .....	202
6.5	Разработка и создание специализированных генераторов СИ.....	203
6.5.1	Сверхпроводящие вигглеры .....	203
6.5.2	Радиационно-стойкий дипольный магнит для строящегося в GSI (Германия) ионного ускорителя .....	204
6.5.3	Технологический накопительный комплекс (ТНК "Зеленоград").....	205
6.5.4	Разработка нового источника синхротронного излучения для Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения.....	205
6.5.5	MARS в РИЦ "Курчатовский институт" .....	205
6.6	Конференции, совещания, семинары .....	206
6.6.1	XVIII Международная конференция по использованию синхротронного излучения "СИ-2010" .....	206
6.6.2	Международный симпозиум по генерации и использованию терагерцового излучения .....	207
6.6.3	Школа для молодых "Синхротронное излучение в науках о земле" .....	208
6.6.4	Конференции студентов и аспирантов СЦСТИ .....	209
6.6.5	Участие сотрудников СЦСТИ с докладами на других научных мероприятиях.....	210
<b>7.</b>	<b>Радиофизика и электроника.....</b>	<b>211</b>
7.1	Источники питания электрофизических установок.....	213
7.1.1	Источники стабилизированного тока.....	213
7.1.2	Высоковольтные источники. Электроника для диагностических и нагревных инжекторов нейтральных атомов .....	215
7.1.3	Высоковольтные источники. Электроника Энергоблоков для электронно-	



лучевой сварки (ЭЛС) .....	215
7.2 Разработка измерительных систем и устройств автоматизации физических экспериментов .....	217
7.3 Исследования, связанные с моделированием и решением электростатических и электродинамических задач ускорительной физики .....	221
7.4 ВЧ генератор для резонансного ускорителя электронов на основе коаксиального резонатора .....	222
7.5 Изготовление и настройка элементов ускоряющей структуры для модульного промышленного линейного ускорителя электронов 10 МэВ, 100 кВт .....	226
7.6 Проект ВЧ генератора на частоту 100 МГц с выходной мощностью 540 кВт в непрерывном режиме .....	229
7.7 Модернизация ВЧ генераторов непрерывной мощности для ЛСЭ .....	233
7.8 Определение параметров ВЧ системы накопителя Сибирь-2, обеспечивающих устойчивость продольного движения электронов для синфазных дипольных колебаний .....	236
7.9 Статус ВЧ системы накопителя 2,2 ГэВ г. Зеленоград .....	236
7.10 ВЧ система инжекторов нейтральных пучков токамака COMPASS .....	237
7.11 Новая ВЧ система для электрон-позитронного накопителя БЭП .....	238
7.12 Подготовка ВЧ системы накопителя ВЭПП-4М для работы на энергии 4 ГэВ .....	240
7.13 Ускоряющие структуры CCDTL для Linac 4, CERN .....	240
<b>8. Мощные электронные ускорители .....</b>	<b>243</b>
8.1 Радиационные технологии и ускорители электронов серии ЭЛВ .....	245
8.2 Ускорители электронов типа ИЛУ и их применение .....	251
8.2.1 Поставки ускорителей .....	251
8.2.2 Работы на прототипе модульного линейного ускорителя электронов .....	251
8.2.3 Изготовление и испытания модульного линейного ускорителя электронов ИЛУ-14 .....	253
8.2.4 Разработка новых технологий .....	254
<b>9. Физика для медицины .....</b>	<b>255</b>
9.1 Статус работ по БНЗТ .....	257
9.2 Детекторы рентгеновского излучения для медицины и досмотра людей .....	258
9.2.1 Медицинская рентгенография .....	258
9.2.2 Система Рентгеновского Контроля (СРК) "Сибскан" для досмотра людей .....	258
9.2.3 Работы для физики высоких энергий .....	258
<b>Библиография .....</b>	<b>259</b>
<b>Список публикаций .....</b>	<b>259</b>
Препринты .....	308
Авторефераты .....	311
Участие в конференциях .....	313
<b>Соглашения о сотрудничестве .....</b>	<b>316</b>
<b>Состав научных сотрудников .....</b>	<b>319</b>
Члены Российской академии наук .....	319
Дирекция .....	319
Учёный совет .....	319
Секции учёного совета по направлениям .....	320
Научные работники и их публикации .....	323

## Введение

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

В настоящее время ИЯФ СО РАН – самый крупный академический институт страны (около 2700 сотрудников). Среди 414 научных сотрудников Института 10 академиков и членов-корреспондентов РАН, 57 докторов и 169 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 50 человек.

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

### К числу основных достижений ИЯФ в науке и технике относятся:

#### В области физики элементарных частиц и ядерной физики:

- пионерские работы по развитию метода встречных пучков (в настоящее время - основной метод в физике высоких энергий):
  - первые эксперименты по электрон-электронному взаимодействию (одновременно со Принстон-Стэнфордскими работами), 1965 год,
  - первые в мире эксперименты по электрон-позитронному взаимодействию (1967 год),
  - первое в мире наблюдение процесса двойного тормозного излучения (1967 год),
  - пионерские работы по двухфотонной физике (1970 год);
- исследование характеристик векторных мезонов на установках со встречными электрон-позитронными пучками ВЭПП-2, ВЭПП-2М и ВЭПП-4 (с 1967 года);
- открытие явления множественного рождения адронов в электрон-позитронной аннигиляции (1970 год);
- прецизионное измерение вклада адронной поляризации вакуума в величину аномального магнитного момента мюона для одного из наиболее чувствительных тестов Стандартной модели, проводящегося совместно с Брукхевенской национальной лабораторией (1984-2005 годы);
- разработка метода резонансной деполяризации для прецизионного измерения масс элементарных частиц, достижение рекордной точности измерения масс К-, ро-, омега-, фи-, пси- мезонов и ипсилон-мезонов (1975-2004 годы);
- открытие эффектов несохранения четности в атомных переходах, подтверждение единой теории электрослабого взаимодействия (1978 год);
- разработка метода проведения экспериментов на внутренних сверхтонких мишенях в накопителях (с 1967 года) и исследование электромагнитной структуры дейтрона в поляризационных экспериментах (с 1984 года);
- разработка метода получения интенсивных потоков меченых гамма-квантов высокой энергии на основе использования обратного комптоновского рассеяния (1980-1982 годы); эксперимен-

тальное 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 г.);
- первое вычисление перенормировки заряда в теории Янга-Миллса (1969 год);
- разработка метода правил сумм КХД (1979 - 1984 годы);
- предсказание большого усиления эффектов несохранения чётности в нейтронных резонансах в тяжёлых ядрах (1980 - 1985 годы);
- разработка теории жёстких эксклюзивных реакций в КХД (1977-1984 годы);
- 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).

#### **В области физики и технологии ускорителей:**

- успешный многолетний опыт работы по созданию накопителей и установок со встречными пучками;
- изобретение, разработка и экспериментальная проверка метода «электронного охлаждения» для пучков тяжелых частиц, используемого в настоящее время в лабораториях всего мира; обеспечение эффективными «охлаждителями» ускорительные комплексы тяжелых ионов в Германии, Китае, ЦЕРНе (1965-2005 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 (Х-линзы, литиевые линзы), используемых в настоящее время в различных лабораториях (с 1962 года);
- изобретение и экспериментальная проверка метода перезарядной инжекции, 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);
- разработка физической концепции нового поколения электрон - позитронных коллайдеров с очень высоким уровнем светимости, так называемых электрон - позитронных фабрик (с 1987 года);
- предложение и разработка метода ионизационного охлаждения мюонов для создания мюонных коллайдеров и нейтринных фабрик (1969-1981-2002);
- разработка и создание мощных электронных ускорителей малой энергии для различных технологических применений, включая защиту окружающей среды, в том числе ускорители ЭЛВ-

12 с мощностью 500 кВт и энергией 1 МэВ и ИЛУ-10 с мощностью до 50 кВт и энергией 5 МэВ (с 1963 года);

- предложение и реализация схемы ускорителя – рекуператора для лазеров на свободных электронах с высоким КПД (1979-2003 годы).

### **В области физики плазмы и термоядерного синтеза:**

- изобретение (1954 год) и создание (1959 год) «классической» открытой магнитной ловушки (пробкотрона) для удержания горячей плазмы;

- изобретение и разработка новых схем открытых ловушек: многопробочной, с вращающейся плазмой, амбиполярной, газодинамической; экспериментальное осуществление многопробочного удержания плазмы с суб-термоядерными параметрами на ловушке ГОЛ-3; экспериментальное осуществление стабилизации МГД неустойчивостей в аксиально-симметричной газодинамической ловушке на установке ГДЛ (с 1971 года);

- открытие бесстолкновительных ударных волн в плазме (1961 год);

- разработка метода нагрева плазмы релятивистскими электронными пучками, (с 1971 года);

- разработка поверхностно-плазменных высокоинтенсивных источников отрицательных ионов, получивших широкое распространение во всем мире (1969 - 1981 годы);

- 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).

Уникальные установки и оборудование Института составляют основу инфраструктуры для широкого спектра междисциплинарных научных и научно-технологических исследований, проводимых в созданных при Институте четырех Центрах коллективного пользования: Сибирском Центре синхротронного излучения, Центре фотохимических исследований, Центре геохронологии кайнозоя, Центре электронно-лучевых технологий. Возможностями Центров ежегодно пользуются сотни организаций.

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

- Промышленные ускорители электронов высокой мощности, используемые для модификации полимеров, очистки промышленных и бытовых отходов, производства нанопорошков чистых

металлов, окиси кремния, оксидов, карбидов и нитридов металлов, радиационной обработки продуктов питания, стерилизации медицинского оборудования и одноразовых инструментов и одежды, и других технологических применений;

- Малодозные цифровые рентгенографические установки сканирующего типа со сверхнизким уровнем облучения пациента для медицины и систем безопасности;
- Разработка установок ядерной медицины для протонной, ионной и бор-нейтрон-захватной терапии злокачественных образований;
- Установки для электронно-лучевой сварки;
- Радиографическое оборудование для исследований оборонного характера.

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

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

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

Институт принимает активное участие в формировании инновационной экономики страны. Одним из ярких примеров этого процесса является разработка совместно с ИЦиГ СО РАН и ЗАО “Сибирский центр фармакологии и биотехнологии” уникальной технологии электронно-лучевой иммобилизации биомолекул на инертном носителе, которая используется для серийного производства первого в мире перорального тромболитика “Тромбовазим”.

Институт глубоко интегрирован в работы РАН и СО РАН, осуществляя выполнение 20 проектов по программам Президиума и отделений РАН, 16 междисциплинарных интеграционных проектов и 8 совместных проектов СО РАН с институтами региональных отделений РАН, национальных академий наук Украины, Беларуси и Китайской народной республики, двух заказных проектов СО РАН – в качестве соисполнителя; четырех государственных контрактов в рамках ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 - 2012 годы” (уникальные стенды и установки, центры коллективного пользования); девятнадцати государственных контрактов в рамках ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 - 2013 годы; более пятидесяти проектов РФФИ.

Ежегодно сотрудники Института представляют около 300 докладов на международных и российских конференциях, публикуют более 300 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 автори-



тетной международной базе данных ESI, составляет 28267. В соответствии с данными обзора, это значение является максимальным результатом среди всех институтов Российской академии наук. Четверо сотрудников Института являются лауреатами специальной премии издательства Elsevier как самые цитируемые авторы на постсоветском пространстве в области естественных наук.

### **Лучшими работами 2010 года Ученый Совет ИЯФ признал следующие работы:**

#### **В области физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий:**

1. В эксперименте с детектором КЕДР на ВЭПП-4М с лучшей в мире точностью измерены фундаментальные параметры семейства  $\psi$ -мезонов – массы и лептонные ширины.
2. В эксперименте BABAR (Стэнфорд, США) с наилучшей в мире тонностью измерены мезон-фотонные переходные формфакторы для псевдоскалярных мезонов  $\pi^0$ ,  $\eta$ ,  $\eta'$  и  $\eta_c$  при больших квадратах переданного импульса - от 4 до 40 ГэВ<sup>2</sup>.
3. В эксперименте с детектором ATLAS на Большом адронном коллайдере с рекордной энергией  $2E = 7$  ТэВ установлен верхний предел на массу правого промежуточного бозона в модели зеркальной симметрии.
4. Сформулирован и развит новый мощный метод вычисления петлевых интегралов, основанный на размерностном рекуррентном соотношении и аналитичности интегралов, как функций размерности пространства-времени.

#### **В области фундаментальной физики атомного ядра:**

5. В эксперименте ДЕЙТРОН на ВЭПП-3 впервые с высокой точностью измерена разность сечений упругого рассеяния электронов и позитронов на протоне.

#### **В области физики плазмы:**

6. Разработаны теоретическая модель и комплекс программ расчета нелинейной релаксации мощных электронных пучков в плазме, которые хорошо описывают уже существующие эксперименты и предсказывают высокую эффективность коллективного нагрева плазмы в термоядерном реакторе на основе открытой ловушки.
7. Показано, что даже в присутствии сильной продольной неоднородности плазмы коллективная релаксация релятивистского электронного пучка в плазме многопробочной ловушки ГОЛ-3 происходит с высокой эффективностью: пучок передает плазме до 55 % своей энергии.

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

8. В экспериментах со встречными пучками тяжелых ионов на Большом адронном коллайдере при рекордных энергиях впервые проведено прямое наблюдение явления подавления струй. Ключевым элементом, позволившим осуществить накопление ионных пучков необходимой для этих экспериментов интенсивности, является разработанная и созданная в ИЯФ СО РАН система электронного охлаждения, установленная на ионном накопителе низкой энергии LEIR.
9. Завершено создание и проведены успешные испытания сильноточного инжектора линейного индукционного ускорителя. Получены проектные параметры установки, кардинально превосходящие все имеющиеся в мире аналоги.
10. Осуществлена стабильная генерация эпитепловых нейтронов на установке БНЗТ, оснащенной электростатическим ускорителем – тандемом. Проведены первые эксперименты по облучению опухолевых клеток нейтронами.
11. На электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 получена светимость в режиме круглых встречных пучков во всем диапазоне энергии накопителя. Проведен первый эксперимент с двумя детекторами СНД и КМД-3 в диапазоне энергии 1000 – 1900 МэВ с набором интегральной светимости 15 обратных пикобарн.
12. Создан уникальный 119-полюсный сверхпроводящий вигглер с периодом 3 см для центра синхротронного излучения ALBA-CELLS (Испания).
13. Разработан координатный рентгеновский детектор DIMEX с субмикросекундным временным разрешением для исследования динамики быстропротекающих процессов и наноструктур с использованием синхротронного излучения.

В 2010 году указом Президента РФ от 06.06.2010 № 678 за достижения в области разработки и создания лазеров на свободных электронах Винокурову Николаю Александровичу присуждена Государственная премия Российской Федерации в области науки и технологий 2009 года. Коллективу из шести сотрудников Института – А.Н. Скринский, Г.Н. Кулипанов, В.В. Кубарев, О.А. Шевченко, М.А. Щеглов и В.М. Петров – присуждена Государственная премия Новосибирской области за цикл работ “Разработка и создание мощного терагерцового лазера на свободных электронах”. Коллектив молодых ученых Института в составе: А.В. Богомягков, И.Б. Николаев и К.Ю. Тодышев награжден медалью РАН с премией для молодых учёных по итогам конкурса 2009 года в области ядерной физики за работу «Прецизионное измерение массы  $t$ -лептона». Коллектив молодых ученых Института в составе: Е.И. Солдаткина и В.В. Приходько стал лауреатом именной премии 2010 года Правительства Новосибирской области в номинации «физико-математические науки» за цикл работ «Методы улучшения удержания плазмы в модели источника термоядерных нейтронов на основе газодинамической ловушки». Аспиранты К.А. Мартин и В.И. Алейник стали лауреатами конкурса мэрии г. Новосибирска на предоставление субсидий молодым ученым и специалистам в сфере инновационной деятельности в 2010 году.

Четыре научных коллектива Института, возглавляемые академиками А.Н.Скринским, Э.П. Кругляковым, Г.Н.Кулипановым и профессором А.П.Онучиным, имеют статус ведущих научных школ, присуждаемый Советом по грантам при Президенте Российской Федерации. Три коллектива молодых ученых Института являются лауреатами этого же Совета как молодые доктора и молодые кандидаты наук.

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

Для учащихся, студентов, преподавателей школ и вузов, сотрудников других организаций и гостей Института было проведено более 50 экскурсий по установкам ИЯФ, которые посетило около 1700 человек, проведены выездные лекции в новосибирских школах.

**1**

**Физика  
элементарных  
частиц**





## 1.1 Детектор КМД-3

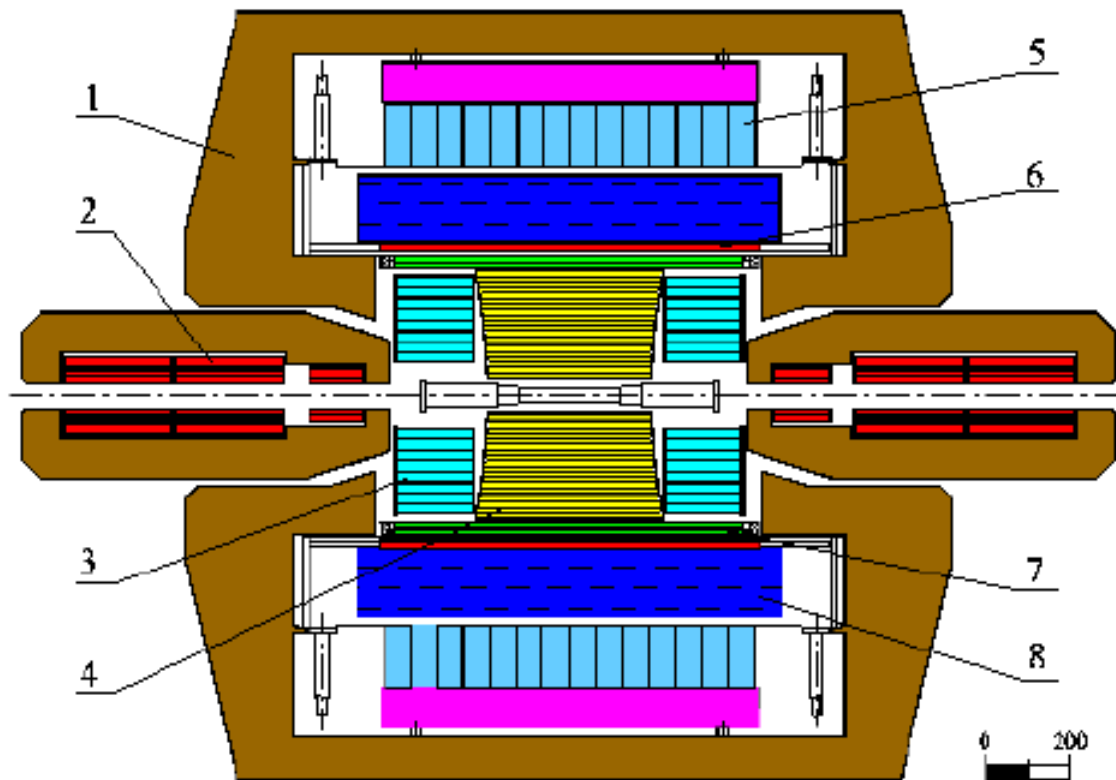


Рис.(1.1)1. Детектор КМД-3. 1 - ядро магнита; 2 – сверхпроводящие соленоиды ВЭПП-2000; 3 - электромагнитный калориметр на основе кристаллов BGO; 4 - дрейфовая камера; 5 - электромагнитный калориметр на основе кристаллов CsI; 6 - сверхпроводящий соленоид КМД-3; 7 - Z-камера; 8 - электромагнитный калориметр на основе жидкого ксенона.

Схематический продольный разрез детектора КМД-3 показан на Рис. (1.1) 1.

В 2010 году были начаты эксперименты с детектором КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000. С помощью событий из заходов с  $e^+e^-$  пучками были измерены экспериментальные разрешения систем детектора. Пространственное разрешение дрейфовой камеры детектора в плоскости, перпендикулярной оси пучков, составило около 100 мкм, разрешение по среднему импульсу частицы в событиях  $e^+e^-$  рассеяния при энергии пучков 850 МэВ было получено равным  $\sigma_p/p = 5\%$ . Энергетическое разрешение цилиндрического электромагнитного калориметра, включающего в себя калориметр на основе кристаллов CsI и калориметр на основе жидкого ксенона, составило  $\sigma_E/E = 6\%$ .

В период с марта по июнь 2010 года в 7 энергетических точках в диапазоне 1,3-1,9 ГэВ в системе центра масс записана экспериментальная информация, соответствующая интегралу светимости  $1,5 \text{ пб}^{-1}$ . Проведен предварительный анализ данных для измерения сечений процессов  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  и  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ , результаты которого для процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$  показаны на Рис.(1.1)2. Видно, что даже небольшого количества событий, записанных в начале экспериментов, оказалось достаточно, чтобы заметно улучшить точность измерения сечения рождения четырех заряженных пионов при энергии больше 1,4 ГэВ в системе центра масс.

В течение лета 2010 года активно велись работы по доработке плат T2Q и ADIS для их адаптации к физическим требованиям заряженного и нейтрального триггеров детектора. Считывание сигналов с секторов Z-камеры переведено с плат T2A стандарта КЛЮКВА на платы T2Q. Чтобы перевести считывание сигналов с полосок калориметра на жидком ксеноне и с катодных полосок Z-камеры на новую электронику в лаборатории разрабатывается плата AWF-32. Необходимо изго-

товить 100 таких плат, что возможно сделать к осени 2011 года. В декабре 2010 года с детектором КМД-3 был проведен физический заход в области энергий  $\phi(1020)$ -резонанса. Полученные в заходе экспериментальные данные соответствуют интегралу светимости  $0,67 \text{ пб}^{-1}$  в режиме сканирования резонанса. В пике  $\phi(1020)$ -резонанса интегральная светимость составила  $0,46 \text{ пб}^{-1}$ . Исследованы зависимости от энергии сечений процессов  $\phi \rightarrow K^+K^-$  и  $\phi \rightarrow K_L^0 K_S^0$ . По результатам измерения массы  $\phi(1020)$  в этой работе была выполнена калибровка энергии коллайдера ВЭПП-2000.

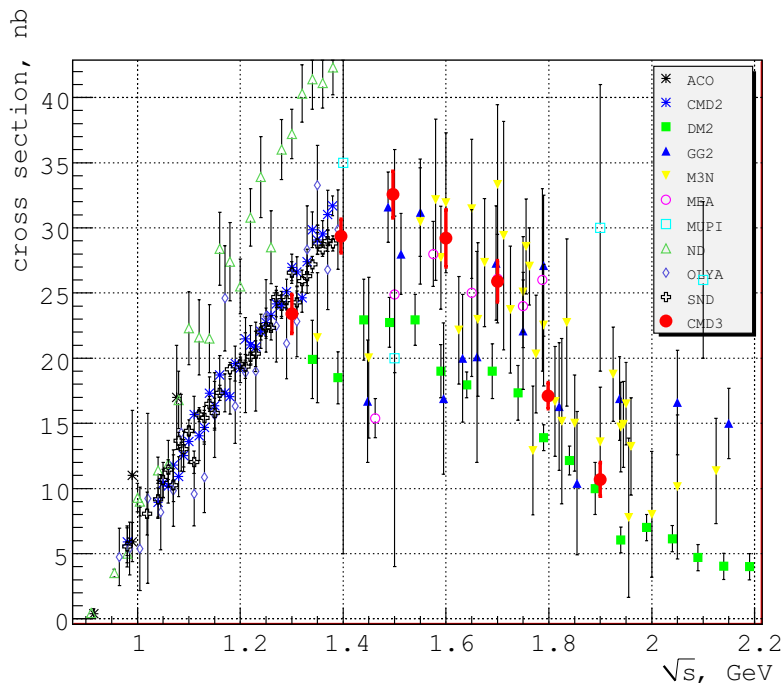


Рис.(1.1)2. Зависимость от энергии сечения рождения четырех заряженных пионов, полученная с детектором КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000, в сравнении с результатами других экспериментов.

Кроме того, в 2010 году продолжалась обработка данных, полученных с детектором КМД-2 на коллайдере ВЭПП-2М. На основе совместного анализа четырех основных каналов распада  $\phi(1020)$ -мезона была измерена электронная ширина этого резонанса. Было получено следующее значение:  $\Gamma_{e^+e^-} = 1,235 \pm 0,006 \pm 0,022 \text{ кэВ}$ . Данное измерение согласуется с результатами предыдущих экспериментов, а его точность сравнима со среднемировой.

## 1.2 Детектор СНД

### 1.2.1 Модернизация СНД и первые результаты экспериментов на ВЭПП-2000

Во время экспериментов на коллайдере ВЭПП-2000 в феврале-июне и декабре 2010 году трековая система показала стабильную удовлетворительную работу.

В 2010 году начато изготовление второго экземпляра трековой системы СНД с модифицированной структурой внутреннего катода, позволяющей снизить взаимные наводки между полосками, и использованием новой элементной базы для высоковольтного питания. В марте-мае произведена сборка корпуса, а с октября начаты работы по натяжению проволочной структуры.

Система аэрогелевых черенковских счетчиков с показателем преломления аэрогеля  $n=1,13$  использовалась в экспериментах с момента постановки ее на детектор СНД в 2009 году. В экспериментах с записью космических частиц данные с черенковских счетчиков использовались для проверки работоспособности систем детектора и их калибровки. Полученные данные позволили измерить максимальное количество фотоэлектронов и неоднородность светосбора счетчика в зависимости от времени. К концу экспериментального сезона 2009-2010 годов средняя амплитуда

счетчика для электронов составила 4-5 фотоэлектронов. Такой низкий уровень сигнала, в основном, определялся ухудшением свойств аэрогеля - уменьшением длины рассеяния в нём. Было принято решение о пересборке системы счетчиков с проведением тестов каждого элемента счетчика: аэрогеля, шифтера и фотоумножителя (ФЭУ с МКП). В результате свойства аэрогеля практически полностью восстановились после процедуры отжига, а пластины шифтера не ухудшили своих свойств. Два прибора ФЭУ пришлось заменить ввиду деградации квантовой эффективности фотокатода. На данный момент система полностью восстановлена и установлена на детектор СНД. С обновленной системой были проведены эксперименты, данные с которых в ближайшее время позволят получить значение величины максимальной амплитуды сигнала для заряженных частиц. Кроме того, будет экспериментально исследован отклик счетчика для заряженных частиц различного типа. В частности, измерено пороговое поведение амплитуды в зависимости от величины импульса для заряженных  $\pi$ -мезонов и допороговая вероятность срабатывания счетчика для заряженных  $K$ -мезонов.

В 2010 году проведена калибровка калориметра СНД по событиям процесса  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ , набранным в ходе сканирования энергетической области от 1 до 2 ГэВ в системе центра масс. Полученное разрешение согласуется с разрешением, достигнутым в экспериментах 1995-2000 годов. Разработаны новые платы электроники калориметра и начато их производство. Четыре платы нового образца были установлены на первом слое и исправно работают уже в течение шести месяцев.

В 2010 году продолжилось развитие программного обеспечения системы сбора данных (ССД) детектора СНД, в частности:

- осуществлялись работы по поддержке эксперимента ССД, поддержке пользователей ССД, решению проблем при сбоях в электронике и компьютерной подсистеме;
- проведено развитие рабочего места оператора;
- увеличено число активных экранов;
- доработаны интерфейсы подготовки условий запуска и оперативного управления набором статистики, управления процессами системы, отображения текущих значений пересчетных схем и данных с ВЭПП, просмотра "сырых" событий;
- организовано сохранение параметров ВЭПП и детектора в базу данных, начата работа по визуализации, разработан прототип для отображения истории изменения сигнала за последние 12 часов;
- реализовано чтение новых плат оцифровки сигналов с пропорциональной камеры;
- в ССД интегрированы процессы медленного контроля электроники и контроль состояния детектора по событиям;
- осуществлен перевод компьютерной фермы, выполняющей задачи третичного триггера, на виртуальные машины (основанные на технологии XEN).

В области программного обеспечения "offline" :

- модифицирована организация процесса разработки (переход на subversion, TRAC, wiki);
- доработан алгоритм кластеризации полосок;
- реализовано моделирование полосок в пропорциональной камере;
- реализовано связывание полосок и треков в дрейфовой камере в частице;
- реализован алгоритм учета уходов фазы в реконструкции треков;
- проведены профилирование задания на моделирование и реконструкцию, оптимизация;
- расширен набор контролируемых алгоритмов в процессе контроля по событиям;
- существенно расширен набор адаптированных первичных генераторов для моделирования;
- исправлено большое количество ошибок в уже реализованных блоках ПО.

В 2010 году проведен эксперимент с модернизированным детектором СНД на новом электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 в области энергии  $2E = 1,0 \div 1,9$  ГэВ. Интегральная светимость составила около 6 обратных пикобарн, что уже сравнимо со светимостью на прежних  $e^+e^-$ -коллайдерах. Записанные данные в настоящее время обрабатываются. Используя новые данные для калибровки энергии коллайдера, была измерена кривая возбуждения  $\phi(1020)$  мезона в каналах  $\phi \rightarrow 3\pi, K_S K_L$ .

Экспериментальные данные с энергией  $2E = 1900$  МэВ (выше порога рождения пар нуклонов) использовались для получения предварительных значений сечений процессов рождения нуклон

- антинуклонных пар и для оценки фона. Результаты приведены на Рис.(1.2)1 и (1.2)2. Если для процесса  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$  получено значение сечения  $\sigma(e^+e^- \rightarrow p\bar{p}) = (0,8 \pm 0,2)$  нб, то для процесса  $e^+e^- \rightarrow p\bar{n}$  фон оказался слишком большим, и сейчас ведется работа по его подавлению.

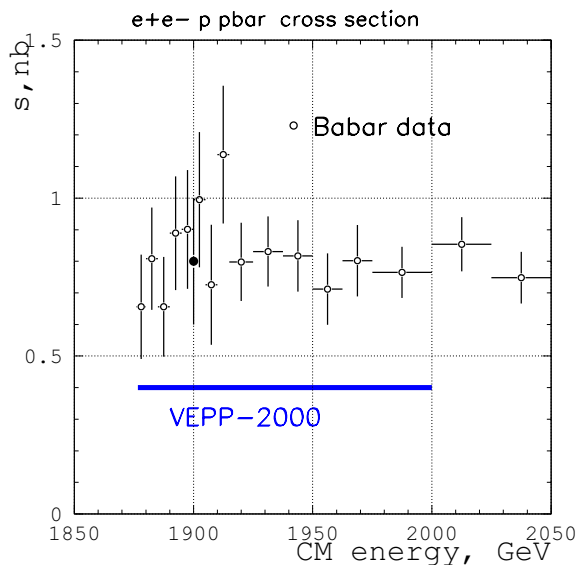


Рис.(1.2)1. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ . Черной точкой показан предварительный результат измерения СНД, использующий часть набранных экспериментальных данных. Для сравнения показаны результаты предыдущих измерений ВаВар.

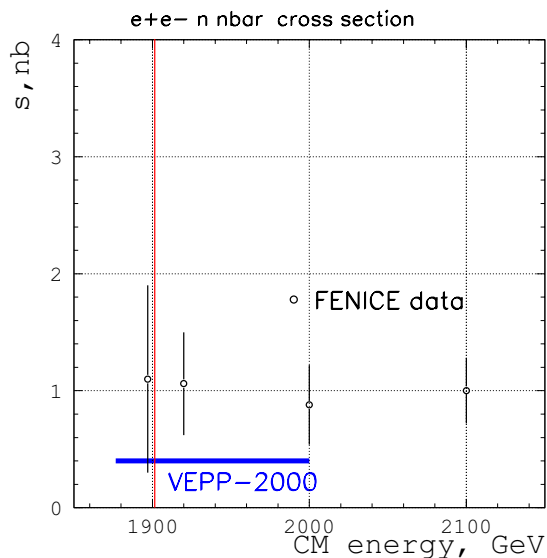


Рис.(1.2)2. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ . Вертикальной полосой указана рабочая точка, где в настоящее время проводится обработка данных СНД.

В 2010 году велись работы по созданию системы измерения энергии на ВЭПП-2000 методом обратного комптоновского рассеяния. Был куплен и запущен в эксплуатацию СО-лазер. Изготовлена вакуумная камера для ввода лазерного излучения в вакуумную камеру коллайдера с высоковакуумным окном из ZnSe.

### 1.2.2 Обработка данных с ВЭПП-2М

Продолжился анализ данных экспериментов, проведенных с СНД на ВЭПП-2М в период с 1995 по 2000 годы. В 2010 году были получены следующие основные результаты по физике элементарных частиц с детектором СНД:

Измерено сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  в канале  $\eta \rightarrow 2\gamma$  в области энергии  $2E = 1,0 \div 1,4$  ГэВ. Использовались данные с интегральной светимостью  $9,05 \text{ пб}^{-1}$ , накопленные на коллайдере ВЭПП-2М. Полученные результаты (Рис.(1.2) 3) не противоречат данным ВаВар и КМД2 и имеют более высокую статистическую точность. Наши данные подтверждают модель векторной доминантности и будут использованы для уточнения этой и других моделей.

В эксперименте с детектором СНД произведен поиск нарушения сохранения лептонного заряда в процессе  $e^+e^- \rightarrow e\mu$  в области энергии около 1 ГэВ. Получены модельно независимые пределы на уровне достоверности 90% на сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow e\mu$ :  $\sigma_{e\mu} < 0,6$  нБ, а также на соответствующий распад  $\phi \rightarrow e\mu$ :  $B(\phi \rightarrow e\mu) < 2 \cdot 10^{-6}$ . Это первые пределы для данной области энергии. Полученный результат вместе с аналогичным пределом для  $J/\psi$  - мезона, будет использоваться для изучения гипотетического  $e \rightarrow \mu$  перехода.

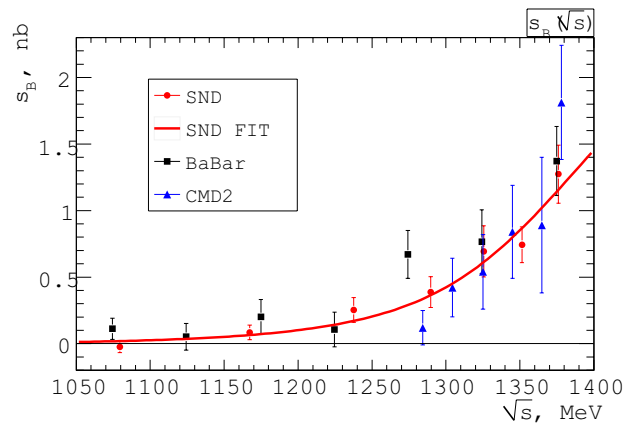


Рис.(1.2)3. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  в зависимости от энергии, измеренное в эксперименте с детектором СНД, и аппроксимирующая кривая. Для сравнения показаны результаты предыдущих измерений BaBar и CMD2.

Опубликована статья, посвященная поиску процесса  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0$  в области энергии от 1,2 до 1,38 ГэВ. Установлены верхние пределы сечений процессов  $\sigma(e^+e^- \rightarrow \phi\pi \rightarrow K^+K^-\pi^0) < 0,023$  НБ и  $\sigma(e^+e^- \rightarrow K\bar{K}^*(982) \rightarrow K^+K^-\pi^0) < 0,059$  НБ на 95% уровне достоверности.

Завершен анализ процессов  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma\gamma$ ,  $e^+e^- \rightarrow K^{\pm}K_{S\pi}^{\pm}$  ( $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ ) и идет подготовка результатов к публикации. Продолжается анализ процессов  $e^+e^- \rightarrow \pi^0\gamma$ ,  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-(2E > 1 \text{ ГэВ})$ ,  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$ ,  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ .

### 1.2.3 Участие в международных проектах.

В 2010 году была запущена система измерения энергии Пекинской с- $\tau$  фабрики (BEPC-II) методом обратного комптоновского рассеяния. Систематическая погрешность измерения энергии пучка составила около 50 кэВ и была определена путём сравнения массы  $\phi'$  резонанса, полученной с использованием системы, с табличным значением массы.

Во всех работах принимали участие:

Г.Н. Абрамов, Е.Г. Авдеева, П.М. Астигеевич, М.Н. Ачасов, В.М. Аульченко, А.Ю. Барняков, К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин, В.Е. Блинов, А.Г. Богданчиков, А.А. Ботов, Д.А. Букин, А.В. Васильев, В.М. Весенев, В.Б. Голубев, Т.В. Димова, В.П. Дружинин, Л.В. Кардапольцев, Д.П. Коврижин, А.А. Король, С.В. Кошуба, Е.А. Кравченко, А.Ю. Кульпин, К.А. Мартин, А.Е. Образовский, А.П. Онучин, Е.В. Пахтусова, В.М. Попов, С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, А.А. Сироткин, К.Ю. Сквонь, А.Н. Скринский, И.К. Сурин, А.И. Текутьев, Ю.А. Тихонов, Ю.В. Усов, П.В. Филатов, А.Г. Харламов, Ю.М. Шатунов, Д.А. Штоль, А.Н. Шукаев.

## 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.

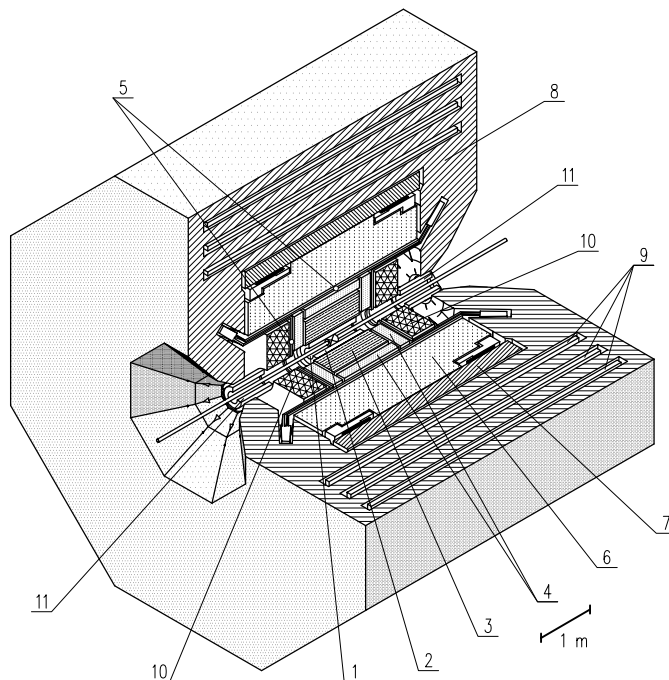


Рис. (1.3)1. Детектор КЕДР. 1-вакуумная камера ускорителя, 2-вершинный детектор, 3-дрейфовая камера, 4-аэрогелевые пороговые счётчики, 5-времяпролётные счётчики, 6-баррельный жидкокритоновый калориметр, 7-сверхпроводящая катушка, 8-ядро, 9-мюонные камеры, 10-торцевой CsI калориметр, 11-компенсирующая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

Основные системы детектора КЕДР показаны на рис. (1.3) 1. Кроме того, детектор включает систему регистрации рассеянных электронов для изучения  $\gamma\gamma$ -физики и монитор светимости. Параметры детектора КЕДР находятся на уровне параметров лучших детекторов, работающих в мире в этой области энергий.

Уникальной особенностью экспериментов с детектором КЕДР является возможность измерения с высокой точностью энергии пучков. Для этого используется два метода: метод резонансной деполяризации и метод обратного комптоновского рассеяния. Высокоточное определение энергии пучков накопителя играет важную роль в получении значимых физических результатов с детектора.

Ниже описаны наиболее важные результаты работ 2010 года по модернизации и улучшению работы систем детектора КЕДР.

### 1.3.1 Детекторы на основе ГЭУ включены в СРРЭ

В 2010 году была проведена модификация системы регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) детектора КЕДР - перед каждым блоком СРРЭ были добавлены двухкоординатные детекторы на основе трёхкаскадных газовых электронных умножителей (ГЭУ). Использование ГЭУ позволяет не только улучшить координатное разрешение по радиальной координате, а следовательно, и по измеряемой в СРРЭ энергии рассеянных электронов, но и, благодаря измерению вертикальной координаты, помочь в подавлении фона однократного тормозного излучения [20].

На рис. (1.3) 2 показано устройство и габариты платы с двухслойной полосковой структурой детектора на основе ГЭУ. Наклонная линия в центре рисунка отражает изменение угла наклона полосок нижнего слоя (от  $30^\circ$  в центре до  $11^\circ$  на краю).



На рис. (1.3) 3 показано распределение отклонений координаты, измеренной в детекторе на основе ГЭУ, от вычисленной. Ширина распределения составляет 89 мкм, что соответствует разрешению одной камеры  $\sigma_{det} \simeq \sigma_{meas} / \sqrt{3/2} \simeq 73$  мкм в направлении, перпендикулярном полоскам верхнего слоя.

Эффективность детектора выходит на плато на уровне  $\sim 98\%$  при величине газового усиления  $2,5 \cdot 10^4$ . Следует отметить, что в течение сезона 2009-2010 года детекторы ГЭУ-СРРЭ работали при газовом усилении в диапазоне  $(3-6) \cdot 10^4$  без пробоев и других видимых проблем, связанных с высоким напряжением. ИЯФ является одним из трёх мест в мире (наряду с ЦЕРНом и Брукхейвенской национальной лабораторией в США), где используются эти новые приборы.

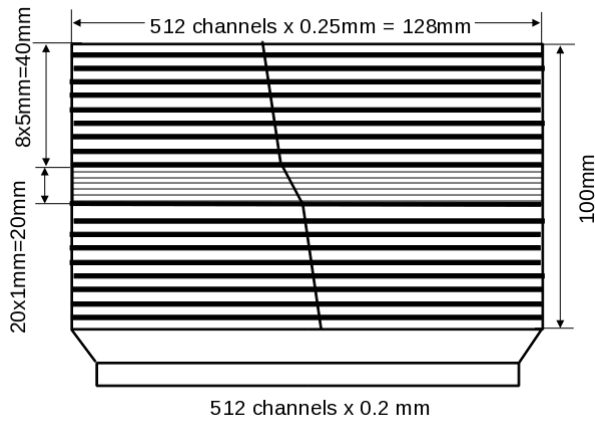


Рис. (1.3)2. Устройство и габариты считывающей платы детектора на основе ГЭУ с переменным углом наклона полосок нижнего слоя.

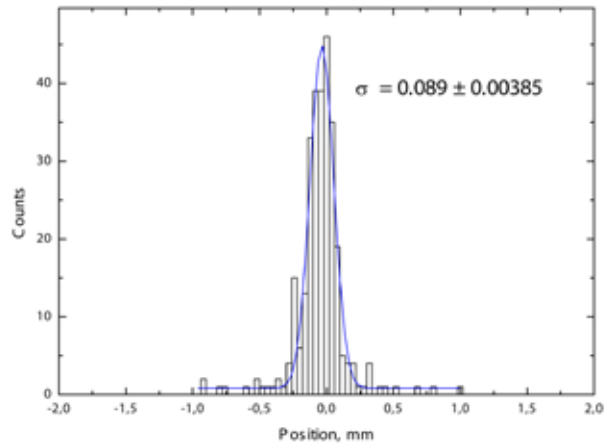


Рис.(1.3)3. Распределение отклонений измеренной координаты трека от вычисленной с детектора на основе ГЭУ. Пространственное разрешение  $\sigma_{det} \simeq 73$  мкм.

### 1.3.2 Начала работать система лазерной калибровки СРРЭ детектора

Лазерная калибровка СРРЭ предусматривает использование двух лазеров с разными длинами волн, которые поочередно светят на пучок. Спектр энергий рассеянных в результате Комpton-эффекта электронов имеет резкий край, однозначно связанный с частотой исходного фотона (точность  $10^{-6}$ ) и энергией ускорителя (точность  $5 \cdot 10^{-5}$ ). Измерение координаты края спектра позволяет откалибровать систему регистрации с точностью  $\Delta E/E < 10^{-4}$  (E и  $\Delta E$  - энергия рассеянного электрона и её ошибка). В настоящее время оптическая система настроена для работы с одним лазером. Ведётся изучение систематических ошибок, связанных с нестабильностью орбиты. Для включения второго лазера требуются дополнительные оптические элементы, которые изготавливаются.

### 1.3.3 Вдвое снижен расход жидкого гелия в криогенной системе детектора

В сезоне 2010 года достигнуто существенное снижение потребления жидкого гелия системой криогенного обеспечения сверхпроводящих магнитов детектора КЕДР: с 700-900 до 360-500 литров в сутки. Для поршневого детандера гелиевого рефрижератора удалось изготовить поршневую пару с уменьшенным (на 4 мкм) щелевым зазором, через который заметно снижены утечки холодного гелия из рабочей зоны, и тем самым существенно повышена эффективность работы.



## 1.4 Результаты работы детектора КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М в 2010 году

В сезоне 2010 года был продолжен эксперимент с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М, обработка набранной ранее и новой статистики. К наиболее значимым результатам относятся следующие.

- Набор статистики: за 2010 год был набран интеграл светимости  $2,1 \text{ пб}^{-1}$  на  $\psi(2S)$ -мезоне и  $0,65 \text{ пб}^{-1}$  в сканировании интервала энергии  $2E=1850 - 3100 \text{ МэВ}$ .
  - Измерение параметров  $J/\psi$ -мезона: получены значение массы и вероятность распада  $J/\psi \rightarrow \eta_c \gamma$ .
  - Измерение параметров  $\psi(2S)$ -мезона: существенно улучшена точность в значении массы, получены предварительные результаты для величин  $\Gamma_{ee} \times B(\psi(2S) \rightarrow \text{hadrons})$ ,  $\Gamma_{ee} \times B(\psi(2S) \rightarrow e^+e^-)$ ,  $\Gamma_{ee} \times B(\psi(2S) \rightarrow \mu^+\mu^-)$  и  $\Gamma_{ee} \times B(\psi(2S) \rightarrow \tau^+\tau^-)$ .
  - Измерение параметров  $\psi(3770)$ -мезона: уточнена форма кривой возбуждения резонанса, получены масса, ширина.
  - Измерение массы  $\tau$ -лептона: ведётся работа по получению массы по всей статистике.
  - Поиск узких резонансов: в области энергий  $2E=1850-3100 \text{ МэВ}$  для узких резонансов понижен предел на произведение электронной ширины на вероятность распада в адроны.
- Далее эти работы описаны более подробно.

### 1.4.1 Измерение параметров $J/\psi$ -мезона

В 2010 году была продолжена работа по обработке статистики, набранной для изучения свойств  $J/\psi$ -мезона. Новые результаты приведены в этом разделе.

#### Измерение массы $J/\psi$

По данным экспериментов 2003 и 2005 годов получено новое значение массы  $J/\psi$ -мезона, имеющее лучшую в мире точность:

$$M_{J/\psi} = (3096,913 \pm 0,006 \pm 0,009) \text{ МэВ}$$

Точность  $M_{J/\psi}$  улучшена по сравнению с предыдущим измерением, опубликованным в 2003 году, которое определяет среднее значение массы  $J/\psi$  в таблицах свойств элементарных частиц (PDG-2010). Измерения массы  $J/\psi$ -мезона в разных экспериментах и среднее значение массы по данным таблиц PDG за 2010-й год (вертикальная полоса шириной 2 стандартных ошибки) показаны на рис.(1.4)1.

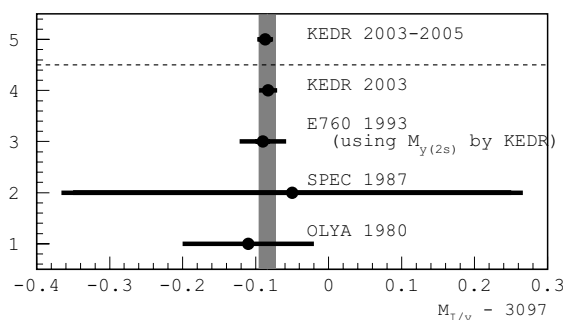


Рис.(1.4)1. Масса  $J/\psi$ -мезона по данным разных экспериментов и её среднее значение в таблицах PDG-2010 (показано вертикальной полосой).

#### Радиационный распад $J/\psi \rightarrow \eta_c \gamma$

Интерес к измерению вероятности распада  $J/\psi \rightarrow \eta_c \gamma$  связан с тем, что в течение долгого времени имелось лишь одно измерение этой величины, выполненное в 1986 году группой Crystal Ball, причём результат значительно отличался от теоретических предсказаний. Лишь сравнительно недавно, в 2009 году, появилось новое измерение этой вероятности, выполненное CLEO.

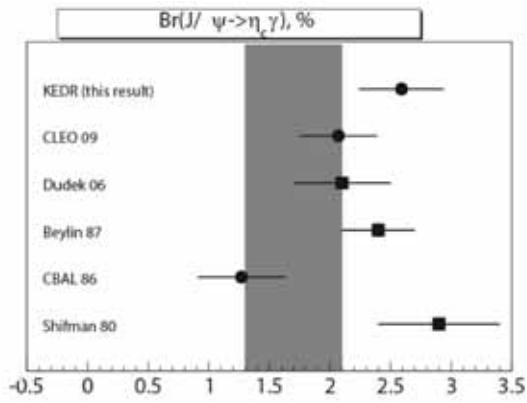


Рис.(1.4)2. Величина  $B(J/\psi \rightarrow \eta_c \gamma)$  в разных экспериментах и её среднее значение (показано вертикальной полосой), а также предсказания теории.

На рис.(1.4)2 круглыми точками показаны экспериментальные результаты CLEO 09 и CBAL 86, которые PDG использует для определения среднего значения  $(B(J/\psi \rightarrow \eta_c \gamma) = (1,7 \pm 0,4)\%)$ , и результат (2010 года) измерения этой величины детектором КЕДР:

$$B(J/\psi \rightarrow \eta_c \gamma) = (2,59 \pm 0,16 \pm 0,31)\%$$

Здесь же приведены предсказания теории (квадратные точки). Среднее значение вероятности распада по данным PDG-2010 показано на рисунке (1.4)2 вертикальной полосой. Наш результат согласуется с результатом CLEO и близок к теоретическим предсказаниям.

В этом же эксперименте была измерена масса  $\eta_c$ -мезона:

$$M_{\eta_c} = (2978,1 \pm 1,4 \pm 2,0) \text{ МэВ}$$

Наше измерение близко по точности к лучшим измерениям массы  $\eta_c$ -мезона (рис.(1.4) 3) и согласуется в пределах 1 стандартной ошибки со средним значением массы в таблицах PDG-2010 ( $M_{\eta_c} = (2980,3 \pm 1,2) \text{ МэВ}$ ).

#### Измерение лептонных ширин $J/\psi$

В предположении лептонной универсальности было получено:

$$\Gamma_{ee} \times B(J/\psi \rightarrow l^+ l^-) = (0,3320 \pm 0,0041 \pm 0,0050) \text{ кэВ}$$

Используя независимую величину  $B(J/\psi \rightarrow e^+ e^-) = (5,94 \pm 0,06)\%$  (PDG-2008), получим результат для лептонной ширины:

$$\Gamma_{ll} = (5,59 \pm 0,12) \text{ кэВ}$$

который имеет лучшую точность, чем среднее значение в таблицах (PDG-2008)  $\Gamma_{ee} = (5,55 \pm 0,14 \pm 0,02) \text{ кэВ}$ . Для полной ширины  $J/\psi$  имеем:

$$\Gamma = (94,1 \pm 2,7) \text{ кэВ}$$

Это значение хорошо согласуется со средней величиной  $\Gamma = (93,2 \pm 2,2) \text{ кэВ}$  (PDG-2008).

### 1.4.2 Измерение параметров $\psi(2S)$ -мезона

В 2010 году была продолжена обработка статистики, набранной для изучения свойств  $\psi(2S)$ -мезона. Новые результаты приведены в этом разделе.

### Измерение массы

В 2010 году была заметно улучшена точность измерения массы  $\psi(2S)$ -мезона по сравнению с опубликованным в 2003 годом результатом (по сканированию 2002 года). Новое значение было получено усреднением данных сканирований 2002, 2004 и 2006 годов, также были уточнены систематические ошибки. Новое значение массы равно:

$$M_{\psi(2S)} = (3686,123 \pm 0,008 \pm 0,012) \text{ МэВ}$$

Это значение в пределах одной стандартной ошибки согласуется с величиной из таблицы свойств частиц  $M_{\psi(2S)} = (3686,093 \pm 0,034) \text{ МэВ}$  и имеет в два раза лучшую точность. Данные разных измерений показаны на рис.(1.4) 4.

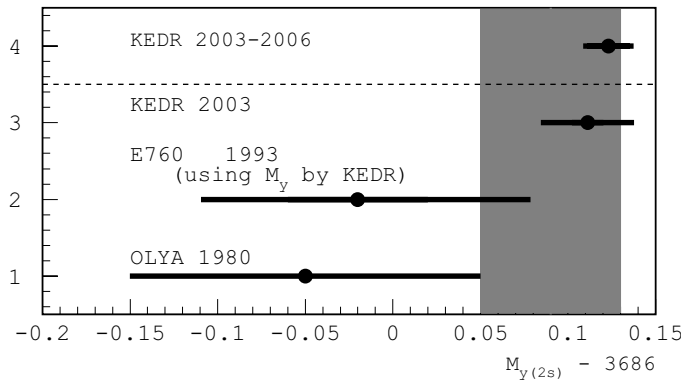


Рис. (1.4)4. Величина массы  $\psi(2S)$  по данным разных экспериментов и её среднее значение в таблицах PDG-2010 (показано вертикальной полосой).

По итогам 2010 года наши измерения масс  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -мезонов сравнялись между собой по точности, они находятся на 5-м – 6-м месте среди наиболее точно измеренных масс элементарных частиц: между  $\pi^\pm$  и  $\pi^0$ .

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

В 2010 году был выполнен анализ данных с целью измерения величины  $\Gamma_{ee} \times Br(\psi(2S) \rightarrow hadrons)$ . Получено значение:

$$\Gamma_{ee} \times Br(\psi(2S) \rightarrow hadrons) = (2,27 \pm 0,02 \pm 0,04) \text{ кэВ}$$

Этот результат хорошо согласуется с величиной в таблицах PDG-2010:  $(2,30 \pm 0,04) \text{ кэВ}$ .

### Измерение лептонных ширин

В 2010 году была проведена обработка  $4,9 \text{ пб}^{-1}$ , набранных на  $\psi(2S)$  и в подложке, с целью прямого измерения величин  $\Gamma_{ee} \times Br(\psi(2S) \rightarrow l^+l^-)$ . Получены следующие предварительные результаты:

$$\Gamma_{ee} \times B_{ee} = (21,7 \pm 0,7 \pm 1,6) \text{ эВ}, \quad \Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu} = (22,2 \pm 0,9 \pm 1,1) \text{ эВ}$$

Измерение таких комбинаций величин для  $\psi(2S)$  выполнено впервые в мире, поэтому их нет в таблицах PDG. Наше измерение согласуется с величиной  $(19 \pm 2) \text{ эВ}$ , которую можно получить перемножив табличные значения  $\Gamma_{ee}$  и  $Br(\psi(2S) \rightarrow l^+l^-)$ . Следует заметить, что табличные величины  $B_{\mu\mu}$ ,  $B_{ee}$  и  $\Gamma_{ee}$  получены в результате совместной подгонки результатов многих экспериментов по измерению параметров  $\psi(2S)$ . Планируется улучшить точность нашего измерения, включив в обработку статистику, набранную на  $\psi(2S)$  в 2010 году (полный интеграл светимости составит  $6 \text{ пб}^{-1}$ ).

Данные детектора КЕДР позволяют вычислить значение величины  $\Gamma_{ee}$ . Используя приведенный выше результат для  $\Gamma_{ee} \times Br(\psi(2S) \rightarrow hadrons)$  и независимое среднее значение для  $Br(\psi(2S) \rightarrow hadrons) = (97,85 \pm 0,13)\%$  (PDG-2010), получаем следующее значение электронной ширины  $\Gamma_{ee}$  для  $\psi(2S)$ -мезона:

$$\Gamma_{ee} = (2,320 \pm 0,045) \text{ кэВ}$$

Это значение отличается от табличной величины  $\Gamma_{ee} = (2,350 \pm 0,040) \text{ кэВ}$  меньше чем на одно стандартное отклонение и имеет сравнимую точность.

При обработке данных с целью измерения массы  $\tau$ -лептона (см. ниже) одновременно была получена величина  $\Gamma_{ee} \times Br(\psi(2S) \rightarrow \tau^+\tau^-)$ . Предварительное значение равно:

$$\Gamma_{ee} \times B(\psi(2S) \rightarrow \tau^+\tau^-) = (9,0 \pm 2,6) \text{ эВ}$$

Оно согласуется с табличной величиной, равной  $(7,2 \pm 0,8) \text{ эВ}$  (PDG-2010).

### 1.4.3 Измерение параметров $\psi(3770)$ -мезона

В 2010 году были получены новые данные в обработке эксперимента по измерению параметров  $\psi(3770)$ -мезона. Для обработки использовалась статистика  $2,7 \text{ пб}^{-1}$ , набранная в трёх сканированиях 2004-2006 годов области  $\psi(2S)$ - $\psi(3770)$ . Данные подгонялись с помощью нерелятивистского р-волнового распределения Брейта-Вигнера с зависящей от энергии полной шириной. Нерезонансное сечение рождения пар  $D\bar{D}$  считалось пропорциональным сумме кубов импульсов D-мезонов. Параметры  $\psi(3770)$  в нашем анализе были определены на основе модели векторной доминантности, был учтён формфактор  $\psi(3770)$ -мезона, а также была учтена интерференция резонанса с нерезонансным рождением  $D\bar{D}$ -пар.

Видимое сечение в трёх сканированиях (данные имеют разную эффективность регистрации) в зависимости от энергии в системе центра масс в широкой области  $W=3650\div 4000 \text{ МэВ}$  представлено на рис. (1.4) 5. На рис.(1.4) 6 показан результат совместной подгонки данных в области пика  $\psi(3770)$  и выше, после вычитания подложки из лёгких кварков.

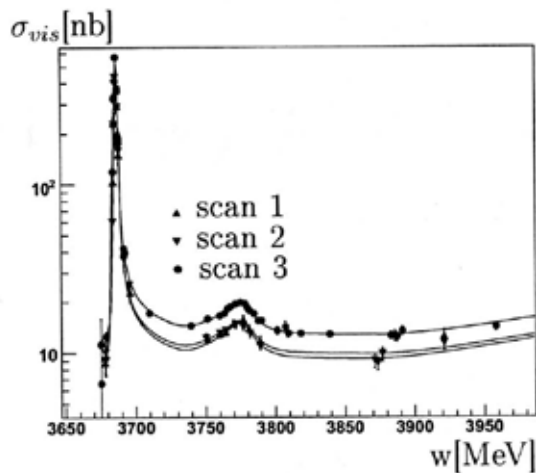


Рис. (1.4)5. Видимое сечение в трёх сканированиях в зависимости от энергии в системе центра масс.

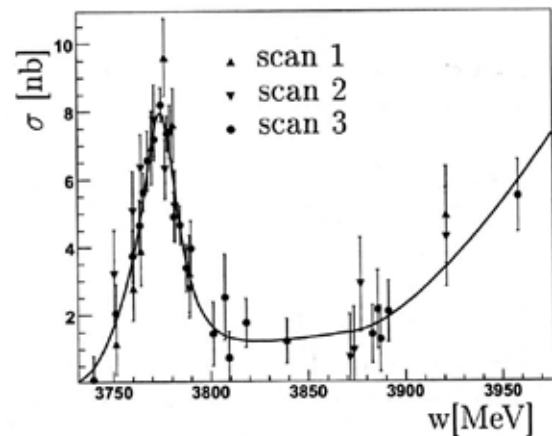


Рис. (1.4)6. Видимое сечение в зависимости от энергии в системе центра масс после вычитания подложки.

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

$$M_{\psi(3770)} = 3778,0^{+1,6}_{-1,5} \text{ }^{+0,6}_{-0,7} \text{ МэВ (КЕДР),}$$

$$\Gamma = 22,4^{+3,9}_{-3,4} \text{ }^{+0,6}_{-0,5} \text{ МэВ (КЕДР).}$$

Они согласуются с табличными данными (PDG-2010) для средних значений массы и полной ширины  $\psi(3770)$ -мезона:  $M_{\psi(3770)} = (3775,2 \pm 1,7) \text{ МэВ}$ ,  $\Gamma = (27,6 \pm 1,0) \text{ МэВ}$ .

### 1.4.4 Измерение массы $\tau$ -лептона

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

При наличии  $\mu$ - $\tau$  универсальности должно выполняться равенство

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

(Так как  $B(\mu \rightarrow e\nu_\mu\bar{\nu}_e) = 1$ ). Используя данные PDG за 2010-й год, для экспериментального значения этого отношения получаем  $1,0029 \pm 0,0045$ , что меньше чем на одно стандартное отклонение отличается от 1.

Основной вклад в ошибку дают неопределённости, с которыми известны время жизни  $\tau$ -лептона ( $\pm 0,34\%$ ) и  $\text{Br}(\tau \rightarrow e \nu_{\tau} \bar{\nu}_{\tau})$  ( $\pm 0,28\%$ ). Ошибка в величине среднего значения массы  $\tau$ -лептона составляет  $\pm 0,009\%$ , её вклад в приведённое выше отношение ( $\pm 0,045\%$ ) сейчас невелик. Величина этой ошибки заметно уменьшилась после включения в таблицы PDG наших измерений  $m_{\tau}$ , имеющих лучшую в мире точность (2007 год). Тем не менее, измерение массы  $\tau$ -лептона с возможно лучшей точностью остаётся интересной задачей и может быть востребовано в будущем. Такой эксперимент планируется провести с участием физиков ИЯФа на  $e^+e^-$ -коллайдере в Пекине.

В 2010 году была продолжена обработка всей набранной статистики ( $15,2 \text{ пб}^{-1}$ ) с целью уточнения массы  $\tau$ -лептона, величин систематических ошибок измерения. Было получено значение массы

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

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

### 1.4.5 Поиск узких резонансов

В 2010 году была продолжена обработка эксперимента по поиску узких резонансов в области  $2E = 1,85\text{-}3,1 \text{ ГэВ}$ . Величина верхнего предела была понижена по сравнению с результатом 2009 года, так как в прошедшем году была набрана дополнительная статистика в "проблемных" точках рассматриваемого интервала энергии. Включенный в обработку интеграл светимости составил  $\int L dt = 300 \text{ нб}^{-1}$ .

На рис. (1.4) 7 показана величина верхнего предела на величину произведения электронной ширины на вероятность распада в адроны узкого резонанса в области энергий  $1,85\text{-}3,1 \text{ ГэВ}$ .

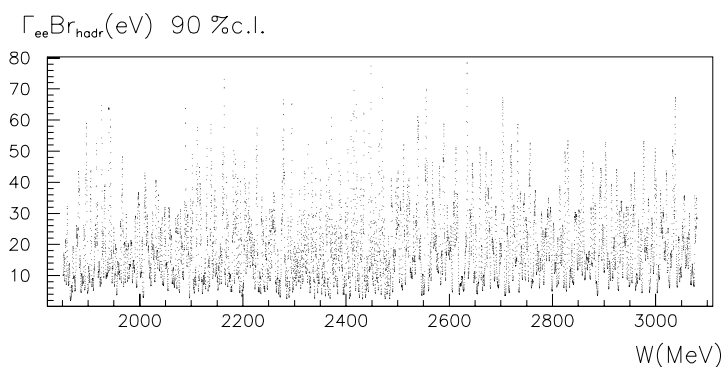


Рис. (1.4)7. Предел на произведение электронной ширины на вероятность распада в адроны для узкого резонанса в интервале энергии  $1,8\text{-}3,1 \text{ ГэВ}$ .

Эффективность регистрации конечных состояний была получена по адронным распадам  $J/\psi$ -мезона. Учет зависимости эффективности регистрации от типа конечного состояния и энергии в системе центра масс, а также неопределённости, с которой известен энергетический разброс накопителя, увеличивает этот предел в 1,5 раза. Итоговый предел на величину  $\Gamma_{ee}^R \times B(R \rightarrow \text{hadrons})$  в области  $2E = 1,85\text{-}3,1 \text{ ГэВ}$  составляет

$$\Gamma_{ee}^R \times B(R \rightarrow \text{hadrons}) < 120 \text{ эВ, } 90\% \text{ CL}$$

В заключение следует отметить, что измерение с лучшей в мире точностью фундаментальных параметров семейства пси-мезонов - масс и лептонных ширин - было признано лучшей работой ИЯФ СО РАН 2010 года в области физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий.

В 2010 году по результатам экспериментов с детектором КЕДР было опубликовано 7 статей, 2 препринта, представлено 3 доклада на 35-й Международной конференции по физике высоких энергий (июль 2010 г., Париж), 3 доклада на 4-м Международном совещании по физике чарма (октябрь 2010 г., Пекин), доклад на XI Рабочем совещании по физике тау-лептона (сентябрь 2010, Манчестер), доклад на III Всероссийской конференции по фундаментальным константам (декабрь 2010 г., Санкт-Петербург) и была защищена 1 кандидатская диссертация.

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 08-02-00142-а, 08-02-00258-а, 08-02-00251-а, 09-02-01035-а, 09-02-01143-а, 10-02-00904-а, 10-02-05033-б, а также Грантом Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-6943.2010.2.

## 1.5 Детекторы для ФВЭ

В 2010 году электроника детекторов КЕДР и СНД функционировала в полном объеме, обеспечивая стабильный набор статистики. Возникающие время от времени поломки оперативно устранялись.

В прошедшем году был решен ряд вопросов по делам, связанным с системой рассеянных электронов детектора КЕДР, и она в полном объеме была включена в систему сбора данных детектора. Тем самым ССД детектора обрела существенные дополнительные возможности.

В течение 2010 года была завершена разработка канала быстрого АЦП (Flash ADC) для электроники калориметра, определена номенклатура комплектующих элементов и сделан заказ на их приобретение. Также продолжалась работа по поэтапной модернизации внутренней электроники детектора (предусилители и кросс-платы).

Оцифровывающая электроника (~90 штук 32-канальных плат) для калориметров детектора КМД-3 в 2010 году работала в полном объеме и показала высокую надёжность.

## 1.6 Рентгеновские детекторы

В начале 2010 года новый однокоординатный детектор DIMEX-3 на 512 каналов был передан пользователям для регулярной работы, и с ним продолжались эксперименты по исследованию динамики взрывов и измерению параметров образцов на канале СИ комплекса ВЭПП-3.

Во второй половине 2010 года были изготовлены ещё два детектора этой модификации. Один из них предназначен для оборудования канала СИ на комплексе ВЭПП-4, где будут продолжены эксперименты по исследованию динамики взрывов на образцах большего размера.

В 2010 году изготовлен корпус детектора ОД-4 для экспериментов по широко-угловому рассеянию на СИ. В ОД-4 вместо проволочной структуры, как, например, в ОД-3, используется многокаскадный газовый электронный умножитель (ГЭУ), что позволяет, наряду с высоким газовым усилением (более 10000), построить детектор в виде дуги с произвольной угловой апертурой. Выполнен существенный объём работ по разработке электроники детектора.

В течение 2010 года были изготовлены два рентгеновских детектора ОД-3М, разработанных в рамках модернизации детекторов серии ОД-3 с целью повышения их надёжности и улучшения параметров. Ранее, в 2009 году, уже были изготовлены и переданы заказчикам (ИХТТМХ и Институт Катализа СО РАН) два таких детектора.

## 1.7 Прочие работы

В рамках международных проектов сотрудники ИЯФ продолжали активно участвовать в работах, связанных с разработкой новой системы сбора данных детектора BELLE-II (КЕК, Япония). Изготовлены и находятся в стадии испытания после коррекции прототипы новой электроники для баррельной части калориметра на кристаллах CsI(Tl). В конце 2010 года на предприятиях в Корее по нашей разработке был изготовлен и доставлен в КЕК новый шейпер в стандарте VME. В настоящий момент идет его тестирование.



## 1.8 Микроструктурные газовые детекторы

Развитие детекторов на основе Газовых Электронных Умножителей (ГЭУ, GEM) было продолжено в 2010 году. Работа проводилась в нескольких направлениях:

- 1) Криогенные двухфазные лавинные детекторы на основе толстых ГЭУ (ТГЭУ, THGEM).
- 2) Модернизация системы рассеянных электронов в эксперименте КЕДР.
- 3) Газовый детектор низкого давления на основе ТГЭУ.
- 4) Участие в коллаборациях: в RD51 в CERN по развитию микроструктурных газовых детекторов и в TPC для Международного линейного коллайдера (International Linear Collider).

### 1.8.1 Криогенные двухфазные лавинные детекторы на основе ТГЭУ

Основной целью проекта является развитие методов регистрации нейтрино и темной материи и медицинской визуализации с помощью разработки специальных детекторов на основе газовых электронных умножителей, работающих в плотных благородных газах при криогенных температурах в режиме лавинного усиления. Большое число применений, рассмотренных выше, основано на уникальном свойстве ГЭУ работать с высоким усилением в чистых благородных газах при криогенных температурах в газовом и двухфазном режиме. Криогенные лавинные детекторы на основе ГЭУ могут применяться для регистрации когерентного рассеяния нейтрино на ядрах с использованием двухфазных Ag и Xe, регистрации солнечных нейтрино с использованием двухфазных или сжатых He и Ne, регистрации темной материи с использованием двухфазных Ag и Xe и в позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) с использованием двухфазного Xe.

В 2010 году полноценно вошла в строй новая модернизированная установка с криогенной камерой объемом 9 л. В течении года она интенсивно эксплуатировалась, в результате чего на ней было проведено несколько циклов исследований.

а) Изучены характеристики Гейгеровских многопиксельных лавинных фотодиодов (G-APD или SiPM) при криогенных температурах. С понижением температуры происходило улучшение амплитудных и шумовых характеристик G-APD (Рис.(1.8) 1). В частности, при 87 К скорость шумов составляла всего несколько Гц на плато по эффективности, а максимальное усиление G-APD было в 4 раза выше по сравнению с комнатной температурой. На Рис.(1.8)2 также показана зависимость гасящего сопротивления пикселя G-APD от температуры. При 87К она увеличивается почти на 3 порядка, что может сказываться на быстродействии прибора при криогенных температурах.

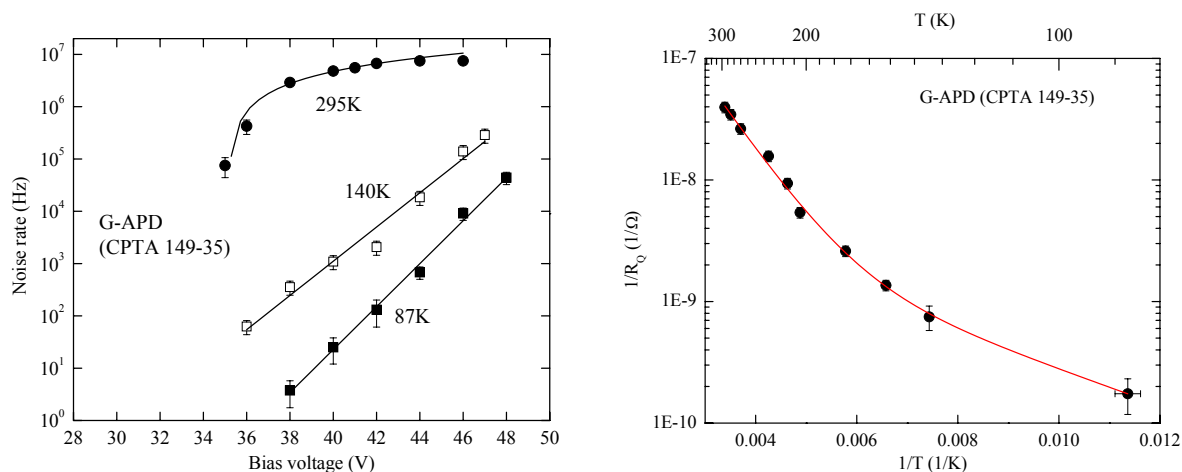


Рис.(1.8)1. Характеристики G-APD «CPTA 149-35» при криогенных температурах. Левый рисунок: скорость одноэлектронных шумов в зависимости от напряжения смещения. Правый рисунок: зависимость гасящего сопротивления пикселя от температуры.

б) Исследован двухфазный лавинный детектор в Ag на основе ТГЭУ с оптическим считыванием сигнала с помощью G-APD. Была изучена новая концепция регистрации оптического считывания сигнала в двухфазных детекторах, с использованием G-APD, регистрирующего фотоны лавин-

ных сцинтилляций от ТГЭУ. Была продемонстрирована эффективная регистрация лавинных сцинтилляций в отверстиях ТГЭУ в двухфазном Ar с использованием G-APD без переизлучателя, т.е. нечувствительного к ВУФ излучению Ar. Это означает, что сцинтилляции происходили в ближней инфракрасной области, где G-APD имеет высокую чувствительность. Так на Рис.(1.8) 2 показан типичный сцинтилляционный сигнал с G-APD (биполярный и однополярный после фильтрации) вместе с зарядовым сигналом с ТГЭУ. Показана также корреляция амплитуд между сцинтилляционным и зарядовым сигналом. Амплитуда сцинтилляционного сигнала оказалась значительной: при лавинном усилении 400 амплитуда составила 640 фотоэлектронов G-APD для 60 кэВ рентгеновских фотонов, поглощенных в жидком Ar. Это соответствует 0,7 фотоэлектрона на начальный электрон (до усиления в ТГЭУ), то есть детектор практически способен работать в режиме счета первичных электронов. Световыход лавинных сцинтилляций составил около 4-5 инфракрасных фотона на электрон лавины в полный телесный угол, что сравнимо со световыходом аргона в ВУФ.

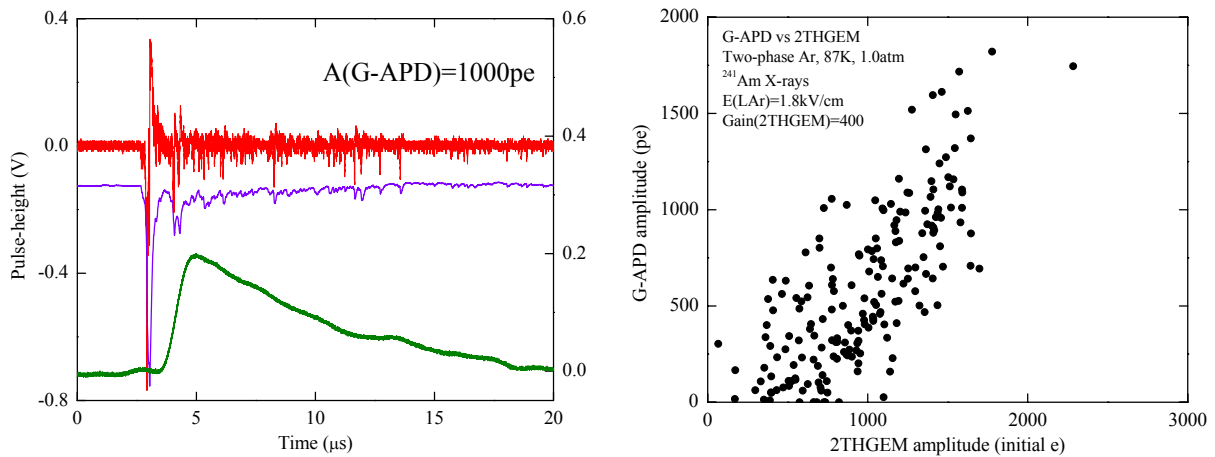


Рис.(1.8)2. Иллюстрация работы двухфазного лавинного детектора в Ar на основе ТГЭУ с оптическим считыванием с помощью G-APD при лавинном усилении 400. Левый рисунок: типичный сцинтилляционный сигнал (верхний и средний) и зарядовый сигнал (нижний) при амплитуде сцинтилляционного сигнала в 1000 фотоэлектронов. Правый рисунок: корреляция между амплитудами сцинтилляционного и зарядового сигнала, выраженных в фотоэлектронах G-APD и первичных (перед усилением в ТГЭУ) электронах.

в) Изучена работа двухкаскадного ТГЭУ на основе нового изоляционного материала (каптона) в газообразном и двухфазном Ar. Образцы были изготовлены в Москве. В двухфазном Ar работа каптонового ТГЭУ была нестабильной, причем не удалось достичь усилений выше нескольких десятков. Более того, устойчивость к пробоям каптонового ТГЭУ с данной толщиной диэлектрика (240 мкм) даже в газообразном Ar оказалась недостаточной для работы при криогенных температурах с усилениями до десяти тысяч: после нескольких минут работы они полностью сгорали. Очевидно, надо искать производителя более качественных и более толстых каптоновых ТГЭУ.

г) Начаты исследования по измерению световыхода инфракрасных сцинтилляций в газообразном и жидком Ar.

д) Начаты исследования по работе двухкаскадного ГЭУ в двухфазном Xe и газообразном ксене.

Исследования криогенных лавинных детекторов будут продолжены в 2011 году.

## 1.8.2 Модернизация системы рассеянных электронов в эксперименте КЕДР

Система регистрации рассеянных электронов является существенной частью эксперимента КЕДР и позволяет регистрировать электроны рассеянные из места встречи под малыми углами. Такие электроны являются характерным признаком фотон-фотонного взаимодействия и их регистрация и точное измерение импульса представляется важной физической задачей.

Для того, чтобы получить предельное разрешение по импульсу рассеянных электронов, обусловленное параметрами пучка в ускорителе, а также улучшить разделение сигнала и фона, каж-



дая из 8 станций системы оснащается детектором на основе тройного ГЭУ с двух-координатным съемом. Детекторы позволят измерять координату в плоскости орбиты с разрешением  $\sim 0,1$  мм. В направлении перпендикулярном плоскости орбиты, пространственное разрешение составит  $\sim 0,25$  мм в области  $\pm 1$  см от орбиты и  $\sim 1$  мм на большем расстоянии от плоскости орбиты. Для получения требуемых параметров была разработана специальная конструкция считывающей плоскости с переменным углом стерео-полосок. Размеры детекторов составляют от  $125 \times 100$  мм до  $250 \times 100$  мм в зависимости от типа станции.

В течение 2010 года система детекторов на основе ГЭУ (ГЭУ-СРРЭ) была полностью запущена и начала постоянно работать в составе системы сбора данных КЕДРа. С ноября 2010 года система участвует в наборе статистики в области энергий 3,2 - 3,7 ГэВ. На рис.(1.8) 3 и (1.8) 4 показан коэффициент газового усиления и эффективность всех 8-ми детекторов системы в зависимости от времени прошедшего с начала сезона.

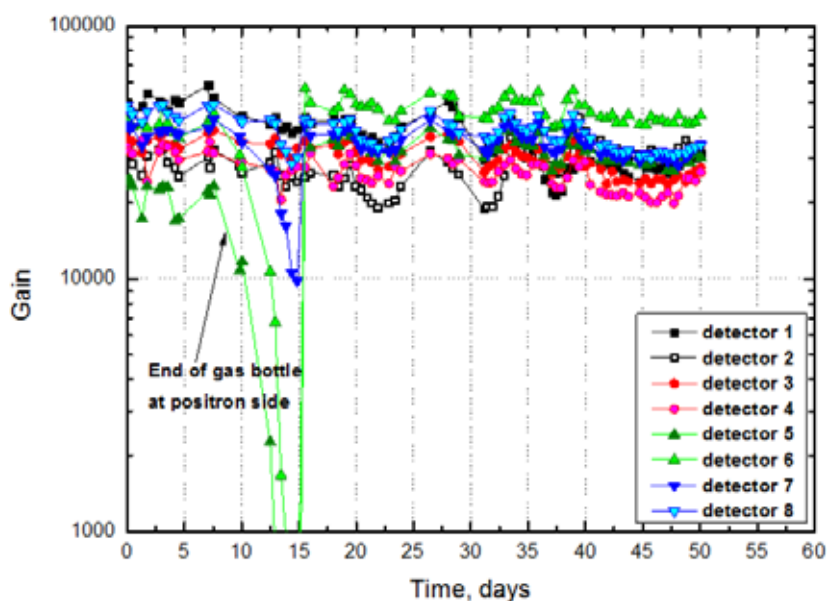


Рис.(1.8)3. Коэффициент газового усиления детекторов ГЭУ-СРРЭ в зависимости от времени.

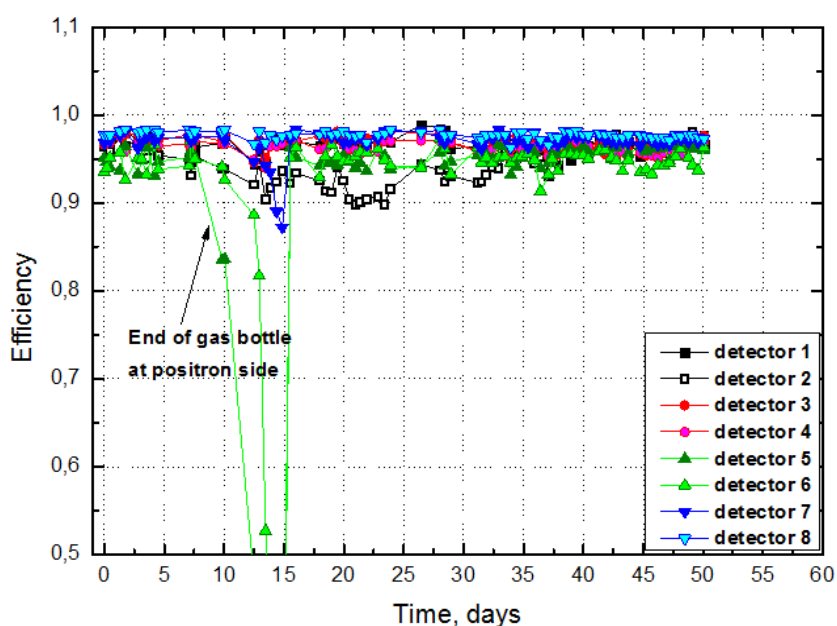


Рис.(1.8)4. Эффективность детекторов ГЭУ-СРРЭ в зависимости от времени.

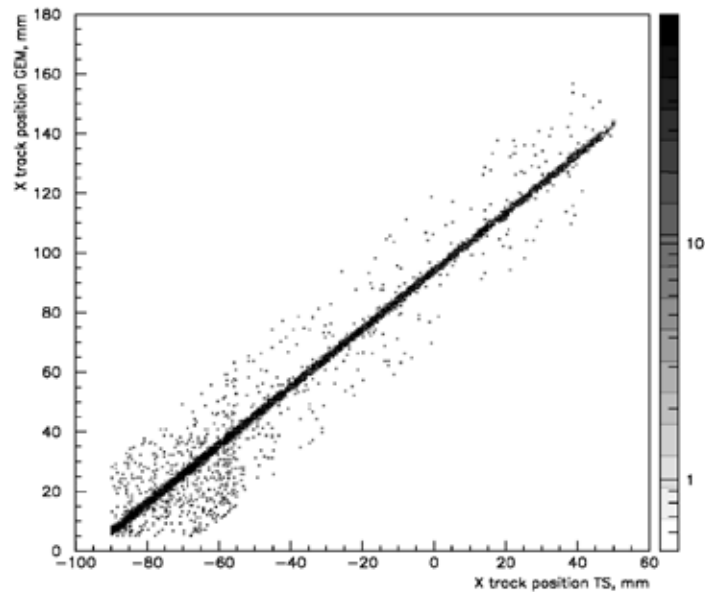


Рис.(1.8)5. Корреляция координат треков, зарегистрированных в годоскопе на дрейфовых трубках (горизонтальная ось) и в детекторе ГЭУ-СРРЭ (вертикальная ось).

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

Первые результаты совместной работы детекторов ГЭУ-СРРЭ и годоскопов на дрейфовых трубках показаны на рис.(1.8)5. На рисунке приведена корреляция координаты треков в обеих системах.

### 1.8.3 Газовый детектор низкого давления на основе ТГЭУ

Газовый детектор низкого давления на основе ТГЭУ предназначен для идентификации ионов на установке АМС. В 2010 году были продолжены измерения на стенде детекторов низкого давления. Были измерены усилительные характеристики толстого и тонкого ГЭУ в изобутане при давлении несколько десятков Торр.

### 1.8.4 Участие в коллаборациях

Группа микроструктурных газовых детекторов ИЯФ является членом международной коллаборации RD51 в CERN по развитию микроструктурных газовых детекторов, образованной в 2008 году. В 2010 году группа продолжила участие в деятельности этой коллаборации.

В 2010 году продолжалось участие сотрудников группы микроструктурных газовых детекторов в разработке ТРС для Международного Линейного Коллайдера (ILC). В настоящее время каскадный ГЭУ рассматривается как наиболее вероятный кандидат в качестве торцевого регистрирующего детектора ТРС.

В работе участвовали В. М. Аульченко, А. Е. Бондарь, А. Ф. Бузулуцков, А. А. Гребенюк, В. В. Жуланов, Р. Г. Снопков, А. В. Соколов, Ю. А. Тихонов, А. В. Чегодаев, Е. О. Шемякина, Л. И. Шехтман.

## 1.9 Участие ИЯФ в ЛHCb в 2010 году

### 1.9.1 Техническое обеспечение работы ЛHCb

Поток данных с детектора ЛHCb, который записывается для последующего сохранения и обработки, состоит из событий размером около 30 кБ, проходящих через триггер высокого уровня (HLT2) с частотой около 2 кГц. Таким образом, поток данных, который необходимо сохранить, составляет около 60 МБ/с или около 600 ТБ за год работы. Этот объем слишком велик для предоставления каждому анализу. Вместо этого в эксперименте ЛHCb применяется централизованный предварительный оффлайн-отбор событий (так называемый «стриппинг»). Из всего объема данных выделяется около 10% событий, которые затем записываются в несколько (5-8) потоков. Таким образом, каждый поток, 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)

Члены группы ИЯФ являются ответственными за разработку и поддержку программной среды, которая осуществляет предварительные отбор событий («стриппинг») по описанию критериев отбора, заданному разработчиками физического анализа. Поскольку такой предварительный отбор во многом сходен с триггером высокого уровня (который на ЛHCb также выполнен программно), среда «стриппинга» является модификацией программ триггера 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 мониторинирования результатов работы.

Кроме того, группа ИЯФ ответственна за поддержку предварительного отбора для анализов по измерению угла  $\gamma$  из древесных распадов B-мезонов. Эти анализы включают в себя каналы распада 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 реконструируется в одном из состояний  $D \rightarrow hh$ ,  $D \rightarrow hhh$ ,  $D \rightarrow hhhh$ ,  $D \rightarrow Kshh$ ,  $D \rightarrow K\pi\pi^0$  (здесь h – это заряженный каон или пион), а X – каон, пион, либо комбинация  $\pi\pi$ ,  $K\pi$  или  $KK$ . Эти 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.

Члены группы ИЯФ продолжили работы по моделированию радиационного фона в шахте ЛHCb и окружающих помещениях. Ранее такая работа была сделана с помощью пакета FLUKA и более сжатыми версиями геометрии ЛHCb. В частности, в 2000-2002 годах был проведен расчет прямых потоков частиц, дозы, а также потоков адронов с энергией выше 20 МэВ и эквивалентного потока нейтронов с энергией 1 МэВ для кремния. Эти расчеты были необходимы для оценки работоспособности электроники, размещенной в соответствующих помещениях и, при необходимости, разработки радиационно стойких элементов оборудования. Далее, в 2004-2007 годах были сделаны расчеты активации элементов оборудования и, в частности, подготовлены распределения активности в материалах эксперимента ЛHCb и распределения мощности доз от наведенной радиоактивности. В настоящее время требуется возобновление моделирования прямых потоков излучения для определения степени опасности для электроники, размещенной во вспомогательных помещениях вокруг ЛHCb с учетом обновленной геометрии эксперимента и изменившегося сценария работы ускорителя.

В 2010 году была возобновлена необходимая инфраструктура (установлена последняя версия пакета FLUKA, проверена геометрия и так далее) и проведены пробные запуски моделирования с ограниченной статистикой. Ниже на рисунке (1.9)1 показано сравнение старого моделирования с новым. Приведена зависимость поглощенной дозы от координаты вдоль оси z эксперимента.

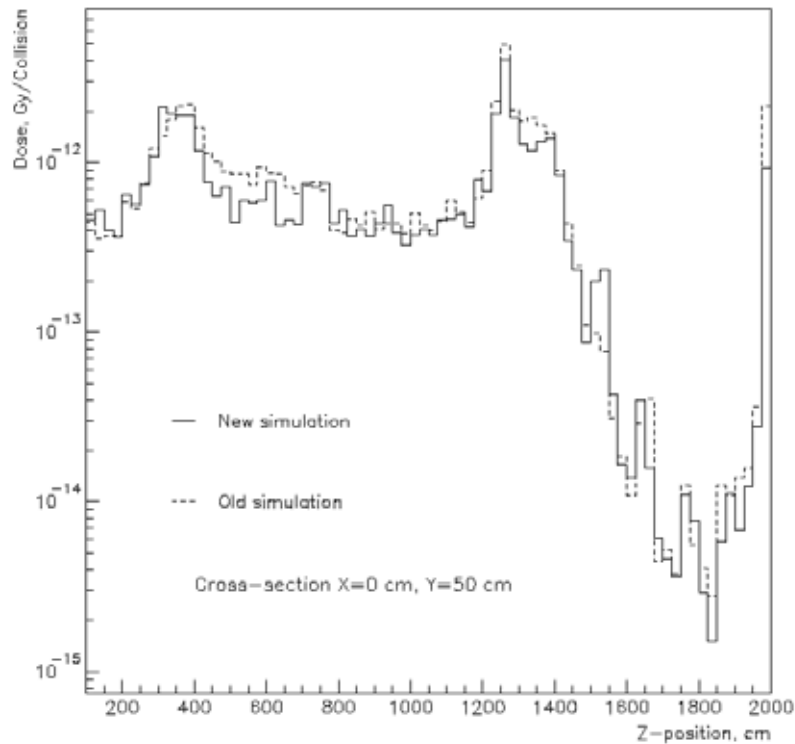


Рис.(1.9)1. Зависимость поглощенной дозы от координаты z.

## 1.9.2 Физические результаты

Программа исследований группы ИЯФ в эксперименте LHCb нацелена на наблюдение эффектов, находящихся за пределами Стандартной Модели электрослабых взаимодействий. Частной задачей в рамках этого общего проекта является прецизионное измерение величин, испытывающих CP-нарушение — угла  $\gamma$  треугольника унитарности и параметров смешивания D-мезонов.

CP-нарушение отвечает за асимметрию материи и антиматерии во Вселенной. В рамках Стандартной Модели, CP-нарушение описывается матрицей Кабиббо-Кобаяши-Маскава (Cabibbo-Sobayashi-Maskawa, СКМ), которая характеризует переходы между различными поколениями кварков за счет слабого взаимодействия. Одним из представлений матрицы СКМ 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 установках, как ATLAS или CMS.

Многие CP-нарушающие процессы, наиболее чувствительные к параметрам УТ, наблюдаются в распадах B-мезонов. На данный момент только один из углов УТ (чаще всего называемый  $\beta$ ) 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.

Другим эффектом, в котором имеется значительный потенциал для наблюдения проявлений «Новой Физики», является смешивание D-мезонов, когда нейтральный D-мезон, сначала находившийся в состоянии с определенным ароматом (например,  $D^0$ ) приобретает примесь противоположного аромата ( $\bar{D}^0$ ) в процессе эволюции во времени. Этот феномен предсказывается Стандартной Моделью и уже наблюдается экспериментально. Однако CP-нарушающие эффекты в смешивании D-мезонов ожидаются исключительно малыми, а эффекты «Новой Физики» могли бы привести к значительному CP-нарушению. Чувствительность, достигнутая на сегодняшний день, не позволяет пока поставить каких-либо значительных ограничений на CP-нарушение в смешивании D.

Оба обсуждаемых измерения имеют много сходных свойств: они требуют значительной экспериментальной статистики, потенциально могут быть выполнены с очень высокой точностью из-за исчезающе малых теоретических неопределенностей, и используют уникальную (для экспериментов на адронных ускорителях) способность детектора LHCb регистрировать с высокой эффективностью каналы распадов с исключительно адронными конечными состояниями. Нашей группой предложена программа исследований, которая использует передовую методику модельно-независимого анализа распределения Далица для высокоточного измерения угла  $\gamma$  и параметров смешивания D-мезонов.

Наиболее точные измерения угла  $\gamma$  на настоящий момент используют многочастичные распады нейтральных D-мезонов из переходов  $B \rightarrow DK$  (такие, как  $K^0 \pi^+ \pi^-$ ). В таких анализах изучаются так называемые распределения Далица, характеризующие динамику многочастичного распада D в фазовом объеме. В наиболее простом (и наиболее часто применяющемся) случае трехчастичного распада фазовый объем и распределение Далица описываются двумя переменными. Поскольку D-мезоны, родившиеся в распадах B, являются смесью  $D^0$  и  $\bar{D}^0$ , эти распределения отличаются от наблюдающихся в случае распада «чистого» состояния  $D^0$  или  $\bar{D}^0$ , и содержат в себе информацию об угле  $\gamma$ . Подобным же образом, наиболее точные измерения CP-нарушения с смешиванием D используют изменение распределения Далица многочастичного распада D во времени.

Однако анализы такого типа страдают от неопределенности описания амплитуды распада «чистого» состояния D: эта амплитуда является сложной комплексной функцией переменных, описывающих фазовый объем. Хотя модуль этой функции и может быть получен из распадов «чистого»  $D^0$ , которые доступны в больших количествах, ее комплексная фаза не может быть определена из этой статистики. Все анализы, которые выполнялись до сих пор, основаны на модельных предположениях о поведении амплитуды распада D, и поэтому содержат достаточно ненадежно вычисляемую модельную неопределенность. Такой подход ограничил бы точность измерений LHCb с высокой статистикой.

Достаточно недавно при участии сотрудников ИЯФ был разработан метод, который решает проблему с модельной неопределенностью в измерении угла  $\gamma$ . Недостающая информация о комплексной фазе в амплитуде распада D берется из квантовых корреляций пар нейтральных D-мезонов, рождающихся на электрон-позитронных коллайдерах на кинематическом пороге. Тот факт, что два D-мезона наблюдаются в когерентном состоянии, приводит к корреляциям между распределениями Далица для многочастичных распадов двух D-мезонов, и позволяет получить комплексную фазу (точнее, разность фаз для распадов  $D^0$  и  $\bar{D}^0$  в один элемент фазового объема - ровно ту информацию, которая нужна при измерении  $\gamma$ ). Технически такой подход требует разбивать фазовый объем на области («бины») с сопутствующим ухудшением статистической точности. Однако предложенный способ оптимального разбиения позволяет достичь статистической чувствительности к  $\gamma$  лишь на ~10% худшей, чем в модельно-зависимом методе, не использующем разбиения. Используя этот способ, коллаборация CLEO недавно получила результаты по измерению комплексной фазы, которые могут быть использованы на LHCb.

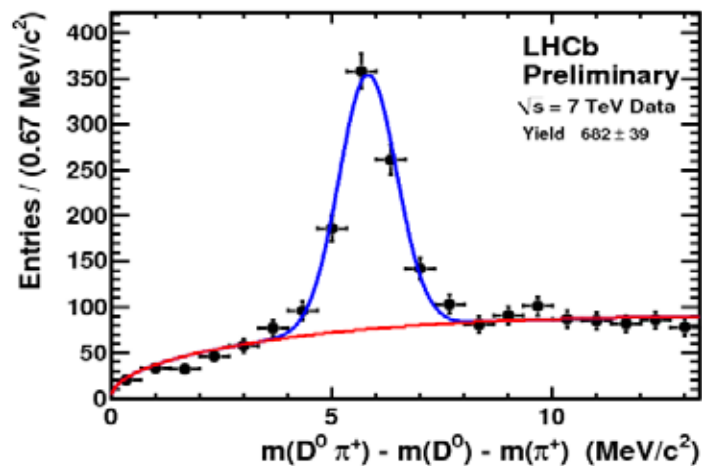


Рис.(1.9)2. Сигнал  $D^* \rightarrow D\pi$ ,  $D \rightarrow K_s \pi\pi$ , наблюдаемый детектором LHCb со статистикой  $124 \text{ nb}^{-1}$ .



Измерение смешивания D-мезонов с использованием многочастичных распадов D во многом подобно измерению  $\gamma$  и также страдает от модельной неопределенности. Недавно было показано, что в измерении смешивания можно использовать подобный же модельно-независимый подход с использованием информации о фазах, полученной из квантовых корреляций в распадах системы DD, что позволяет устранить потенциально доминирующую модельную неопределенность. Поскольку значительная статистика распадов D будет набрана на LHCb уже в 2011 году, такой анализ позволит получить конкурентоспособные результаты в ближайшем будущем. В 2010 году проводилась подготовка к такому анализу — оценка эффективности регистрации, восстановления времени распада, отладка процедур отбора событий и отделения сигнала от фона на уже набранных данных. На рис.(1.9)2 показан сигнал процесса  $D^* \rightarrow D\pi$ ,  $D \rightarrow K_s^0\pi$ , отобранный из небольшой части набранных на сегодня данных LHCb.

В 2010 году был предложен и опубликован еще один способ измерения угла  $\gamma$ , который может расширить программу исследований на LHCb. Если нейтральный B мезон распадается в многочастичное состояние DK $\pi$ , с D мезоном, распавшимся затем также в многочастичное состояние, можно выполнить анализ «двойного» распределения Далица — двух коррелирующих распределений по фазовым объемам распадов B и D. Уникальной особенностью такого анализа является то, что, поскольку относительная примесь противоположного аромата D здесь намного больше, чем в двухчастичном распаде заряженного B на DK, как угол  $\gamma$  так и комплексные фазы в амплитудах B и D можно получить независимо без привлечения других измерений. В частности, ненужной становится и информация о фазе из коррелированных распадов DD, а значит точное модельно-независимое измерение угла  $\gamma$  может быть выполнено исключительно на данных LHCb. Более того, извлеченную информацию о фазе в распаде  $B \rightarrow DK\pi$  можно затем использовать в анализе, где используются двухчастичные распады D из процесса  $B \rightarrow DK\pi$ . Применение этого метода, однако, требует значительной статистики распадов B (несколько лет работы LHCb).

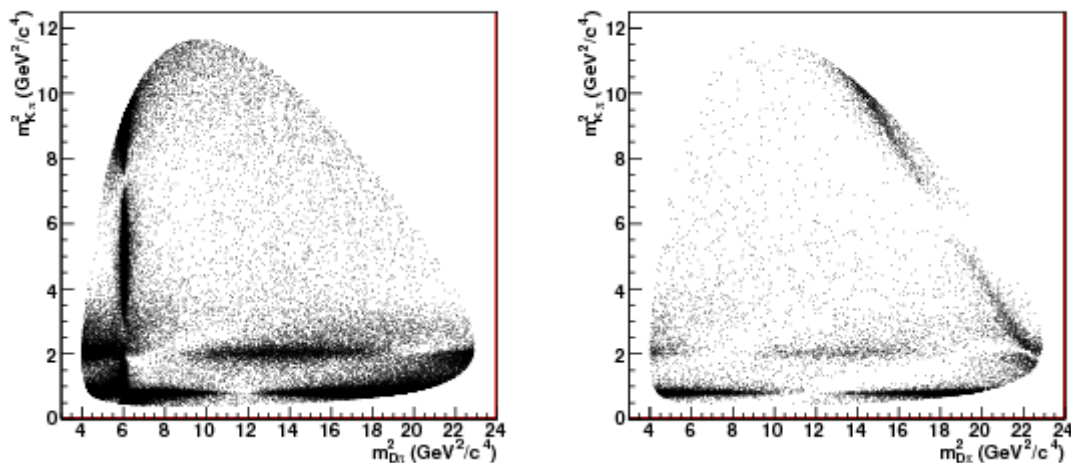


Рис.(1.9)3. Распределения Далица распадов  $B \rightarrow D^0 K \pi$  (слева) и  $B \rightarrow \bar{D}^0 K \pi$  (справа). Результат моделирования методом Монте-Карло.

Было проведено моделирование с помощью метода Монте-Карло с целью проверки практической применимости предложенной методики и определения точности извлечения угла  $\gamma$  (рис. (1.9)3). Поскольку предложенный метод также предполагает разбиение распределения Далица на области, предложен способ оптимального разбиения (рис.(1.9) 4, 5), который оптимизирует статистическую точность определения  $\gamma$ . Полученная в моделировании точность определения угла  $\gamma$  составляет около 1 градуса для интеграла светимости на LHCb около  $50 \text{ fb}^{-1}$  (такую светимость предполагается набрать после модернизации коллайдера LHC и детектора). Эта точность сравнима с другими методами измерения  $\gamma$  и не содержит в себе теоретических неопределенностей или неопределенностей, связанных с параметрами, определяемыми из других измерений. Таким образом, предложенный метод позволит получить дополнительное независимое измерение с точностью, конкурирующей с другими методиками, что важно не только для улучшения статистической точности, но и послужит дополнительной проверкой возможных систематических эффектов.

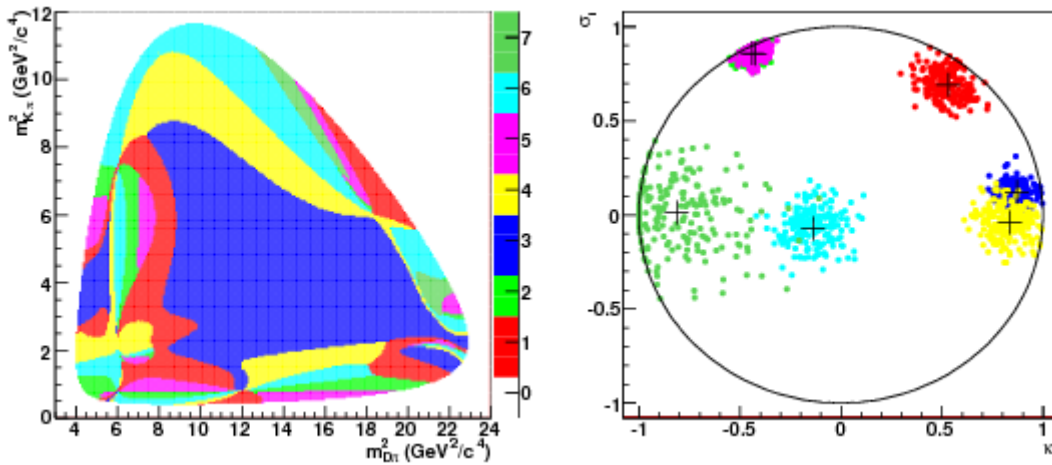


Рис.(1.9)4. Оптимальное разбиение распределения Далица распада  $B \rightarrow DK\pi$  на области (слева) и полученные значения фазовых коэффициентов для такого разбиения в моделировании (справа).

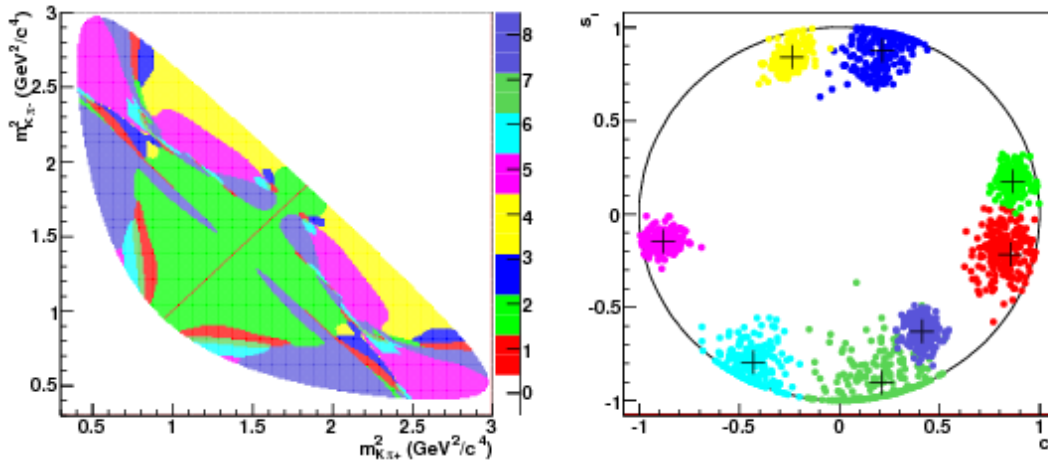


Рис.(1.9)5. Оптимальное разбиение распределения Далица распада  $D \rightarrow K_s \pi\pi$  на области (слева) и полученные значения фазовых коэффициентов для такого разбиения в моделировании (справа).

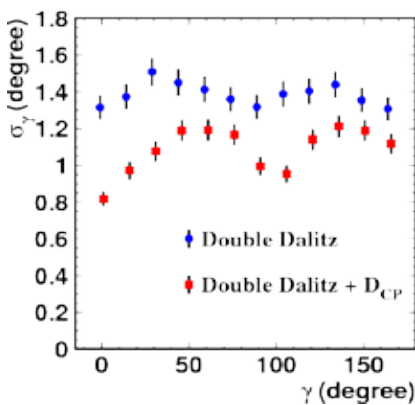


Рис.(1.9)6. Точность измерения угла  $\gamma$  в зависимости от его величины для метода "двойного Далиц-анализа" для статистики  $50 \text{ fb}^{-1}$  (после модернизации LHC и LHCb).

Кроме того, группа ИЯФ активно занималась изучением возможностей исследования в эксперименте LHCb тяжелых кваркониев, а именно, чармония и боттомония — связанных состояний  $c$ - и  $b$ -кварка. За последние пять лет на  $B$ -фабриках в SLAC и KEK были открыты свыше десяти новых чармониевоподобных состояний, свойства которых плохо укладываются в картину чармония, ожидавшуюся в теоретических моделях. Некоторые из этих новых состояний позже наблюдались в экспериментах на Tevatron. Поэтому есть основания считать, что в экспериментах на LHC, в частности, на LHCb может родиться заметное число таких состояний, что позволит провести детальное исследование их свойств. Было проведено исследование, показавшее, что эксперимент LHCb также перспективен с точки зрения изучения различных состояний боттомония.

В работах принимали участие: А.В. Бобров, А.Е. Бондарь, А.О. Полуэктов, Л.И.Шехтман, С.И. Эйдельман.

## 1.10 Эксперимент Belle

### 1.10.1 Основные результаты

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

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

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

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

- Интегральная светимость на эксперименте Belle превысила 1040 обратных фемтобарн.
- Измерены парциальные ширины распадов  $\tau$ -лептона в 3 заряженных адрона.
- Проведен поиск распадов  $\tau$  с нарушением лептонного аромата или лептонного числа.
- Начат высокоточный Далиц-анализ распада  $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  из  $D^{*0} \rightarrow D^0 \pi$ .
- Завершена работа по исследованию интерференции в распадах  $B^\pm \rightarrow K^\pm \eta_c^{(0)}$  и определению параметров чармониев  $\eta_c$  и  $\eta_c'$ .
- Продолжено исследование нарушения комбинированной CP-четности в трехчастичных распадах В мезонов с использованием всей набранной статистики.
- Разработан метод модельно независимого измерения параметров смешивания нейтральных D мезонов и параметров CP-нарушения в смешивании за счет использования бинированного анализа диаграмм Далица.
- Проведено исследование резонансной структуры конечного состояния  $K^+ \pi^+ \pi^-$  в распадах  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+ \pi^+ \pi^-$  и  $B^+ \rightarrow \psi' K^+ \pi^+ \pi^-$ , определены параметры промежуточного состояния  $K_1(1270)$  и измерены парциальные ширины вышеназванных распадов.

### 1.10.2 Анализ данных эксперимента Belle

В 2010 году в изучении физики  $\tau$ -лептона можно выделить два основных направления: определение свойств  $\tau$ -лептона в разрешенных (неподавленных) распадах и поиск новой физики в редких и подавленных распадах.

1. В заходах со светимостью  $666 \text{ фб}^{-1}$  изучались распады  $\tau$ -лептона в три заряженных адрона и нейтрино (различные комбинации  $\pi^\pm$ - и  $K^\pm$ -мезонов) [1]. В результате измерены "бранчинги" четырех мод распада, а также получены спектры масс трехчастичной адронной системы. Таблица (1.10)1. Измеренные парциальные ширины  $\tau \rightarrow (h_1 h_2 h_3) \nu_\tau$ .

Распад	Парциальная ширина
$\pi\pi\pi, 10^{-2}$	$8,42 \pm 0,00^{+0.26}_{-0.25}$
$K\pi\pi, 10^{-3}$	$3,30 \pm 0,01^{+0.16}_{-0.17}$
$KK\pi, 10^{-3}$	$1,55 \pm 0,01^{+0.06}_{-0.05}$
$KKK, 10^{-5}$	$3,29 \pm 0,17^{+0.19}_{-0.20}$



Сравнение с другими экспериментами приведено на Рис.(1.10)1.

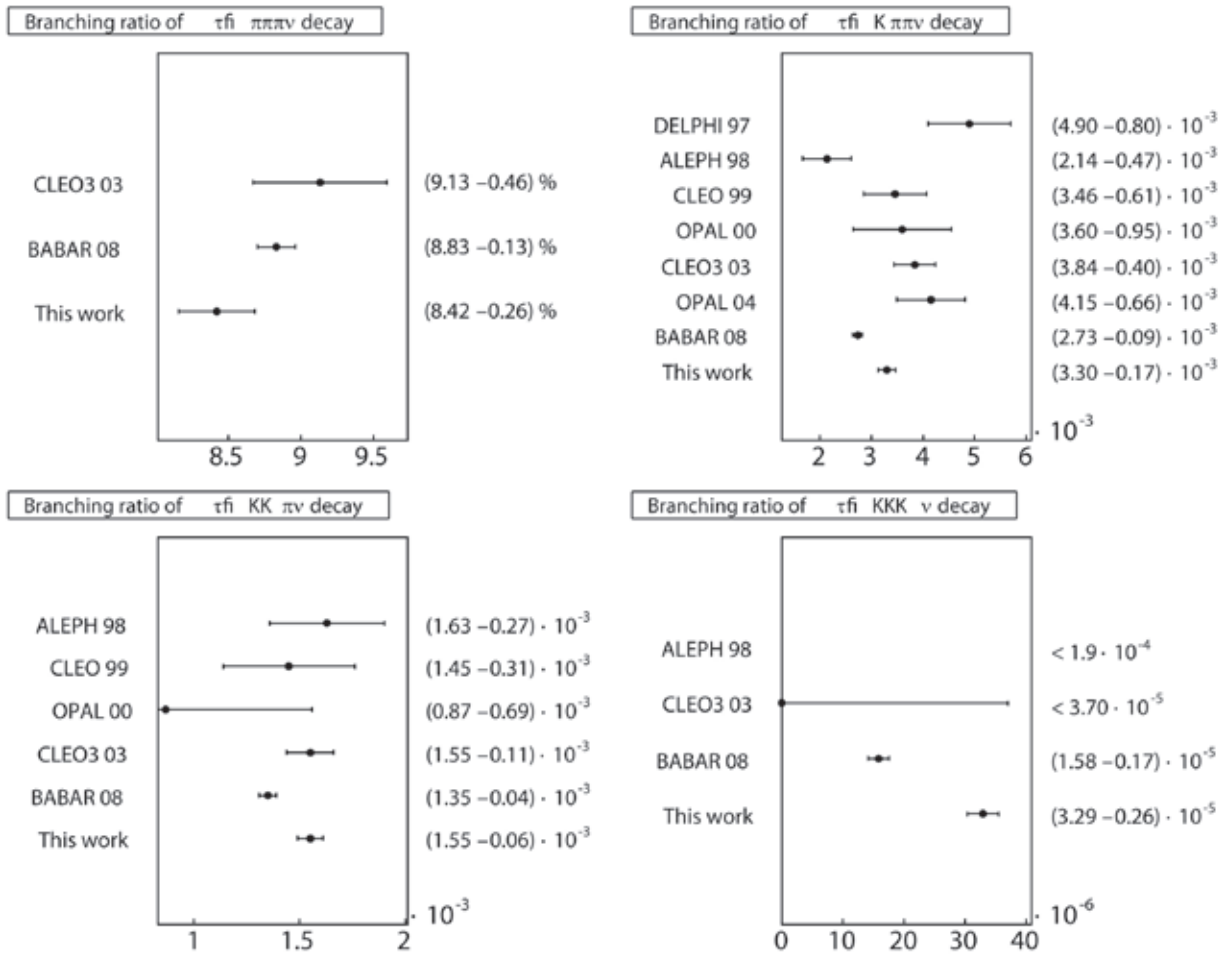


Рис.(1.10)1. Сравнение парциальных ширин распадов  $\tau$ , полученных в разных экспериментах.

Распределение по инвариантной массе адронной системы приведено на Рис.(1.10)2. Видно, что согласие с моделированием в текущей версии программы TAUOLA неудовлетворительное.

Кроме того, завершается анализ, целью которого является определение времени жизни  $\tau$ -лептона. Улучшение точности этого важного параметра позволит провести более чувствительные проверки лептонной универсальности.

2. В Стандартной Модели распады  $\tau$ -лептона с нарушением лептонного аромата или лептонного числа запрещены. Открытие осцилляций нейтрино сняло полный запрет, но вероятность таких распадов чрезвычайно мала, что делает наблюдение практически невозможным. Модели новой физики, выходящие за рамки Стандартной Модели, усиливают вероятность указанных распадов на много порядков и при некоторых значениях параметров доводят ее до  $10^{-7}$  -  $10^{-8}$ . Такие величины вероятности достижимы в экспериментах Belle и BaBar, поэтому ведется интенсивный поиск обсуждаемых распадов. Даже их ненаблюдение, сопровождаемое улучшением верхнего предела, играет важную роль, так как позволяет ограничить пространство параметров в моделях Новой физики. В 2010 году коллаборация Belle продолжила поиск таких распадов, заметно увеличив чувствительность за счет новых критериев отбора, а также используя большую интегральную светимость, а, следовательно, и большее полное число  $\tau$ -лептонных пар.

Так, в заходах со светимостью  $671 \text{ fb}^{-1}$  был проведен поиск распадов  $\tau$ -лептона в лептон  $l$  ( $\mu, e$ ) и пару заряженных мезонов  $h$  ( $\pi^\pm, K^\pm$ ). Результаты приведены в Таблице (1.10)2. Видно, что верхние пределы улучшены в (1,6-8,8) раз.

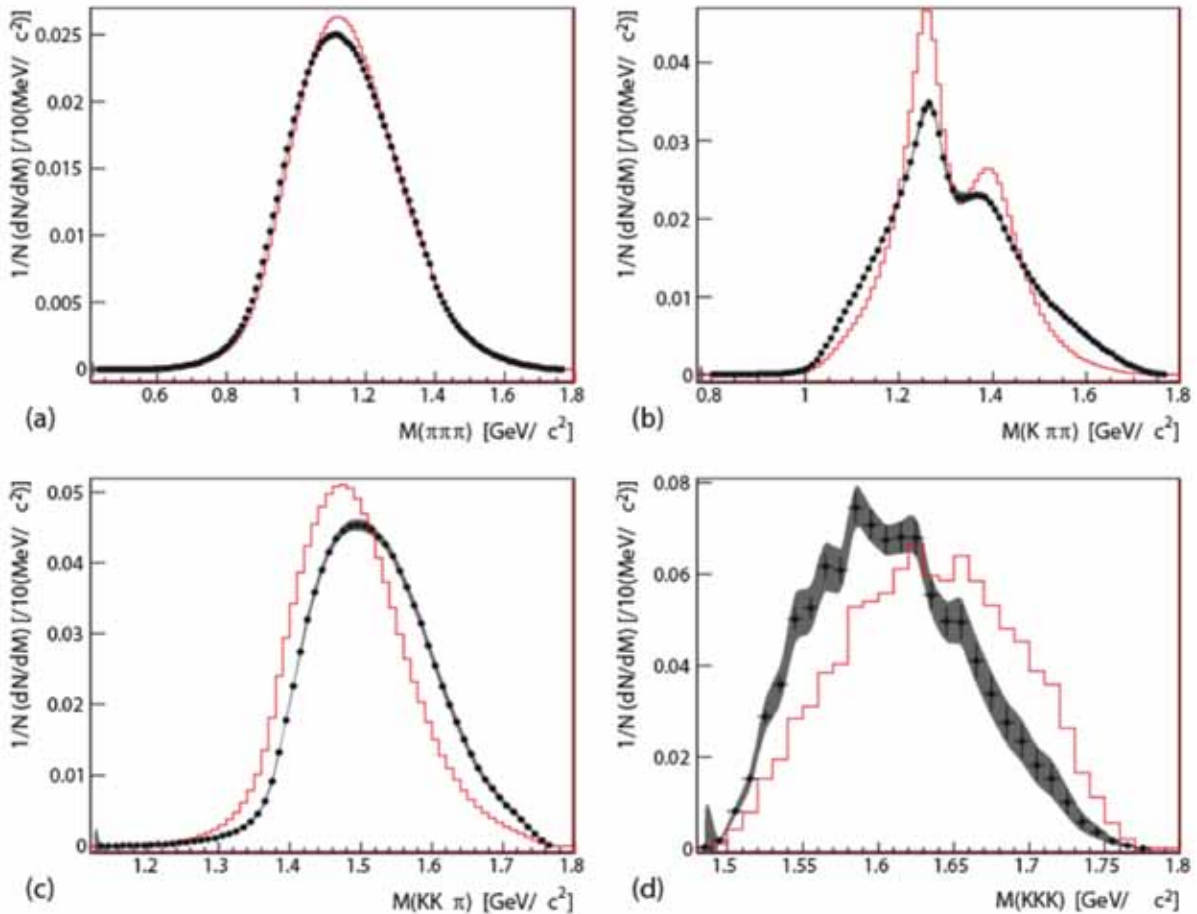


Рис.(1.10)2. Распределение по инвариантной массе адронной системы.

 Табл.(1.10)2. 90% верхние пределы на парциальную ширину распада  $\tau \rightarrow (lh, h_s)^-$ .

Распад $\tau$	Belle		BaBar		CLEO	
	Вероятность распада, $10^{-8}$	$N_{\tau\tau}, 10^6$	Вероятность распада, $10^{-8}$	$N_{\tau\tau}, 10^6$	Вероятность распада, $10^{-8}$	$N_{\tau\tau}, 10^6$
$\mu^+\pi^-\pi^+$	3,3	616,6	29	203,5	820	4,4
$\mu^+\pi^-\pi^0$	3,7		7		340	
$\mu^+\pi^+K^-$	16		26		750	
$\mu^+\pi^-K^+$	10		32		740	
$\mu^+\pi^+K^-$	9,4		22		700	
$\mu^+K^+K^-$	6,8		25		1500	
$\mu^+K^0K^-$	9,6		48		600	
$e^+\pi^-\pi^+$	4,4	616,6	12	203,5	220	4,4
$e^+\pi^-\pi^0$	8,8		27		190	
$e^+\pi^+K^-$	5,8		32		640	
$e^+\pi^-K^+$	5,2		17		380	
$e^+\pi^+K^-$	6,7		18		210	
$e^+K^+K^-$	5,4		14		600	
$e^+K^0K^-$	6,0		15		380	

В другом эксперименте в заходах со светимостью  $782 \text{ фб}^{-1}$  был проведен поиск распадов  $\tau$ -лептона в 3 других лептона. Результаты приведены в Таблице(1.10)3. Видно заметное улучшение верхних пределов по сравнению с прежними.

Табл.(1.10)3. 90% верхние пределы на парциальную ширину распада  $\tau \rightarrow (l_1 l_2 l_3)^-$ .

Распад $\tau^-$	Belle		BaBar		CLEO	
	Вероятность распада, $10^{-8}$	$N_{\tau\tau}, 10^6$	Вероятность распада, $10^{-8}$	$N_{\tau\tau}, 10^6$	Вероятность распада, $10^{-8}$	$N_{\tau\tau}, 10^6$
$e^-e^-e^+$	2,7	718,7	4,3	438,4	290	4,4
$e^-\mu^+\mu^+$	2,7		3,7		180	
$e^+\mu^-\mu^-$	1,7		5,6		150	
$\mu^-e^+e^+$	1,8		8,0		170	
$\mu^-\mu^+\mu^+$	2,1		5,3		190	
$\mu^+e^-e^-$	1,5		5,8		150	

Наконец, в эксперименте по заходам со светимостью  $671 \text{ фб}^{-1}$  был проведен поиск распадов  $\tau$ -лептона в лептон  $l$  ( $\mu, e$ ) и один или два  $K_S^0$ . Результаты приведены в Таблице (1.10) 4. Видно заметное улучшение верхних пределов по сравнению с прежними.

Табл.(1.10)4. 90% верхние пределы на парциальную ширину распада  $\tau \rightarrow l K_S^0$  и  $\tau \rightarrow l K_S^0 K_S^0$ .

Распад $\tau^-$	Belle		BaBar		CLEO	
	Вероятность распада, $10^{-8}$	$N_{\tau\tau}, 10^6$	Вероятность распада, $10^{-8}$	$N_{\tau\tau}, 10^6$	Вероятность распада, $10^{-8}$	$N_{\tau\tau}, 10^6$
$e^-K_S^0$	2,6	616,6	3,3	431	91	12,8
$\mu^-K_S^0$	2,3		4,0		95	
$e^-K_S^0 K_S^0$	7,1		-		220	
$\mu^-K_S^0 K_S^0$	8,0		-		340	

Сотрудниками проводится высокоточный Далиц-анализ распада  $D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  из  $D^* \rightarrow D^0\pi$  на основе  $673 \text{ фб}^{-1}$  данных, набранных детектором Belle, что соответствует более чем  $200 \cdot 10^3$  сигнальных событий. Модель распада включает векторные резонансы  $\rho(770)$ ,  $\omega$ ,  $\rho(1450)$  и  $\rho(1700)$ , скалярные состояния  $\sigma(600)$ ,  $f_0(980)$ ,  $f_0(1370)$  и  $f_0(1500)$ , а также тензорный резонанс  $f_2(1270)$  (Рис.(1.10) 3). Изучение этого распада поможет более точно измерить скалярную составляющую в канале  $\pi^+\pi^-$  распадов D мезонов, а также позволит определить степень нарушения CP-четности в нейтральных D мезонах с высокой чувствительностью. Наряду с другими CP-симметричными конечными состояниями  $D^0$ , детальное изучение  $D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  можно использовать для повышения статистики при измерении угла  $\phi_3$  матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскава. Кроме того, проводится разделение данных на  $D^0$  и анти- $D^0$  для определения CP-асимметрии параметров модели распада  $D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ .

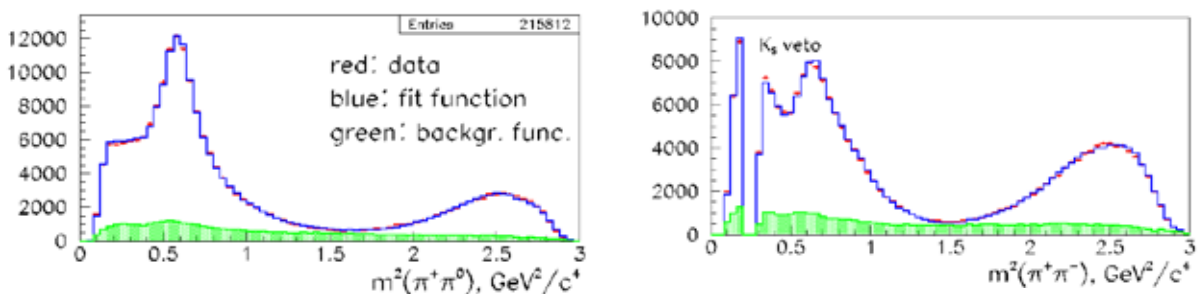


Рис.(1.10)3. Проекция распределения Далица (данные показаны красным цветом, подгоночная функция после оптимизации параметров – синим, фон – зеленым).

Группой сотрудников Института были проведены исследования свойств частицы  $\eta_c$  и ее возбужденного состояния  $\eta_c(2S)$ . Эти частицы являются связанными состояниями  $c$  и анти- $c$  кварков (так называемые, чармонии). В качестве их источника рассматривался распад B мезона в K мезон и чармоний, в свою очередь распадающийся в адроны ( $K_S K \pi$ ). На Рис.(1.10)4 красным цветом показано распределение инвариантной массы  $K_S K \pi$  (пики соответствуют состояниям  $\eta_c, J/\psi, \chi_{c1}$  и  $\eta_c(2S)$ ), черным цветом выделен комбинаторный фон. Видно, что есть события, не являющиеся ни сигналом (пики), ни комбинаторным фоном – это, так называемая, нерезонансная амплитуда. Интерференция с нерезонансной амплитудой ведет к значительной модельной ошибке в измерении

произведения парциальных ширин распадов В мезона и чармония. Предложенная в данной работе процедура учета интерференции впервые не содержит предположений о фазе или абсолютном значении интерференции, то есть является модельно независимой. Результатами данного исследования являются произведения парциальных ширин распадов В мезона и чармония, а также значения масс и ширин  $\eta_c$  и  $\eta_c(2S)$  мезонов. Благодаря большому объему данных результаты имеют маленькие статистические ошибки и позволяют улучшить соответствующие среднемировые значения. Результаты работы готовятся к публикации.

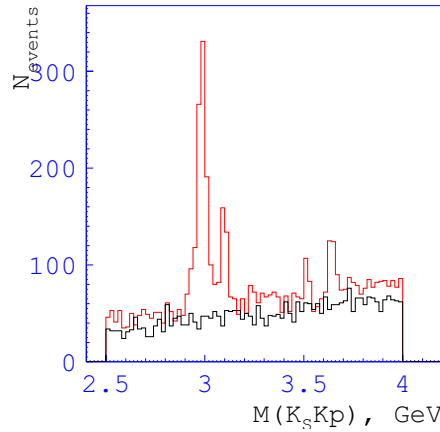


Рис.(1.10)4. Распределение инвариантной массы  $K_S^0 K_L^0$ .

Среди распадов В мезонов в конечные состояния, не содержащие очарованных частиц, большой интерес представляют распады в трехчастичные конечные состояния. Примерами подобного рода процессов являются распады  $B \rightarrow K\pi\pi$  и  $B \rightarrow KKK$ , впервые экспериментально обнаруженные сотрудниками ИЯФ в работе. Особенностью многочастичных (включая трехчастичные) распадов является то, что, как правило, они включают промежуточные квазидвухчастичные состояния. На Рис.(1.10)5 приведено распределение по инвариантной массе двухчастичных комбинаций  $K^+$  и  $\pi^-$ , а также  $\pi^+$  и  $\pi^-$  мезонов из распадов  $B^+ \rightarrow K^+\pi^+\pi^-$ . Из рисунка ясно видно наличие промежуточных  $K^*(892)$  и  $K^*(1430)$  резонансов в спектре  $M(K^+\pi^-)$ , а также  $\rho(770)$  и  $f_0(980)$  резонансов в спектре  $M(\pi^+\pi^-)$ . Анализ распадов в многочастичные конечные состояния позволяет измерить не только вероятности соответствующих переходов b кварка, но и предоставляет возможность измерения относительных фаз между составляющими квазидвухчастичными амплитудами. Это, в свою очередь, обуславливает значительно большую чувствительность многочастичных распадов В-мезонов к прямому нарушению комбинированной СР-четности. Первый анализ нарушения СР-четности в распадах  $B^+ \rightarrow K^+\pi^+\pi^-$  был выполнен сотрудниками в работе, где было обнаружено указание на наличие прямого нарушения СР-четности в распадах  $B^+ \rightarrow \rho^0 K^+$ . В настоящее время ведется анализ полного объема данных по распадам В мезонов, набранных с детектором Belle.

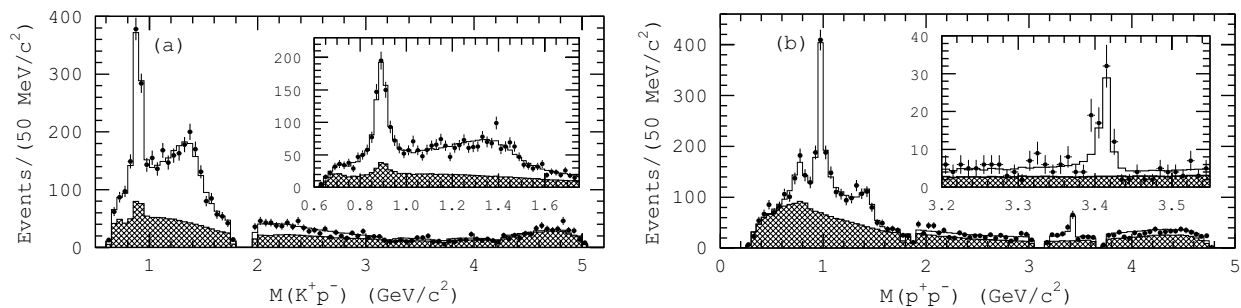


Рис.(1.10)5. Распределение по инвариантной массе пар  $K^+\pi^-$  (слева) и  $\pi^+\pi^-$  (справа) в распадах  $B^+ \rightarrow K^+\pi^+\pi^-$ .

В рамках эксперимента Belle сотрудники Института ведут работу по модельно независимому измерению параметров смешивания нейтральных D мезонов и параметров СР-нарушения в смешивании. Параметры смешивания – фундаментальные параметры, которые не могут быть точно получены теоретически. Точное измерение этих параметров позволит уменьшить теоретическую

неопределенность в других измерениях, в частности, измерении угла треугольника унитарности  $\gamma$ . Измерение параметров CP-нарушения обеспечит проверку Стандартной Модели, так как в ней эти параметры жестко ограничены. Преимущество метода состоит в том, что удалось избежать неопределенностей, связанных с моделью амплитуды трехчастичного распада D мезона, за счет использования бинированного анализа диаграмм Далица (Рис.(1.10) 6). В 2010 году была опубликована статья в журнале Physical Review D, где данный подход подробно описан.

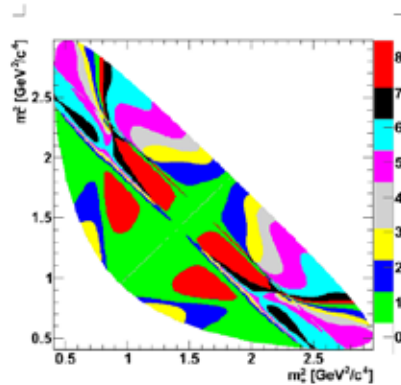


Рис.(1.10)6. Бинированная диаграмма Далица для распада  $D^0 \rightarrow K_s \pi^+ \pi^-$ .

Сотрудники ИЯФ принимали участие в работе по изучению резонансной структуры конечного состояния  $K^+ \pi^+ \pi^-$  в распадах  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+ \pi^+ \pi^-$  и  $B^+ \rightarrow \psi' K^+ \pi^+ \pi^-$ . В рамках этого исследования был проведен амплитудный анализ инвариантных масс конечных частиц распадов с учетом интерференции между различными промежуточными состояниями, а также спино зависимых угловых распределений конечного состояния. Было показано, что промежуточное состояние  $K_1(1270)$  вносит доминирующий вклад как в распад  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+ \pi^+ \pi^-$ , так и в распад  $B^+ \rightarrow \psi' K^+ \pi^+ \pi^-$ . Удалось определить относительные доли распадов  $K_1(1270)$  в конечные состояния  $K\rho$ ,  $K\omega$ ,  $K^*(892)\pi$  и  $K_0^*(1430)\pi$  (результаты подгонки показаны на Рис.(1.10) 7). В данной работе были получены значения массы  $(1248,1 \pm 3,3(\text{стат}) \pm 1,4(\text{сист}))$  МэВ/ $c^2$  и ширины  $(119,5 \pm 5,2(\text{стат}) \pm 6,7(\text{сист}))$  МэВ/ $c^2$  состояния  $K_1(1270)$ . Это одно из первых измерений этих параметров, где  $K_1(1270)$  выделяется достаточно чисто. Кроме того, были сделаны точные измерения парциальных ширин распадов  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+ \pi^+ \pi^-$  и  $B^+ \rightarrow \psi' K^+ \pi^+ \pi^-$ . Результаты исследования были опубликованы в журнале Physical Review D.

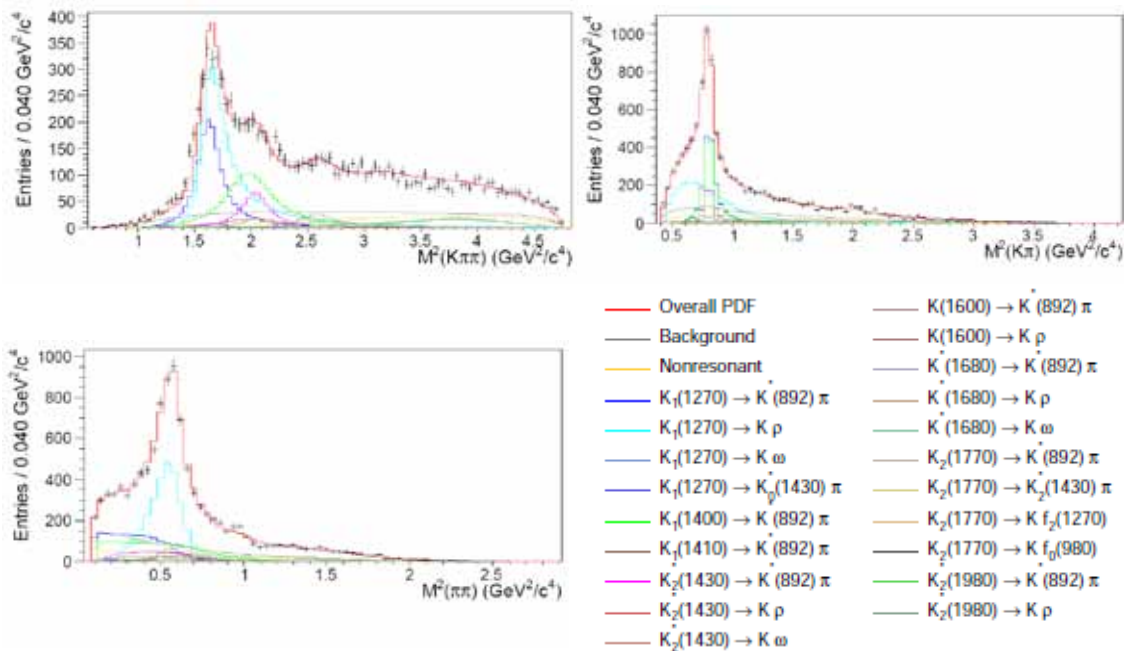


Рис.(1.10)7. Результаты подгонки для распада  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+ \pi^+ \pi^-$ . Данные (точки) и подгонка (гистограммы) показаны в проекциях на три оси.



### 1.10.3 Модернизация детектора

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

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

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

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

В 2010 году в ИЯФ проводились измерения параметров модулей формирователей-оцифровщиков и концентраторов в стандарте VME, разработанных в ИЯФ (Рис.(1.10) 8).

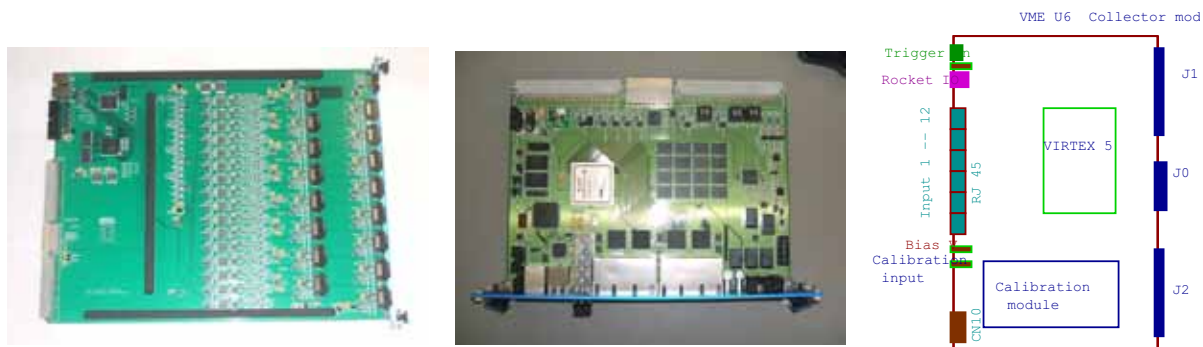


Рис.(1.10)8. Электронный модуль формирователя-оцифровщика в стандарте VME на 16 каналов (слева). Электронный модуль концентратора в стандарте VME (в центре, справа).

Для формирователя-оцифровщика были проведены измерения шумов и линейности. Линейность получилась лучше, чем  $2 \times 10^{-3}$  для динамического диапазона, соответствующего диапазону энергий 10 МэВ - 10 ГэВ (Рис.(1.10) 9).

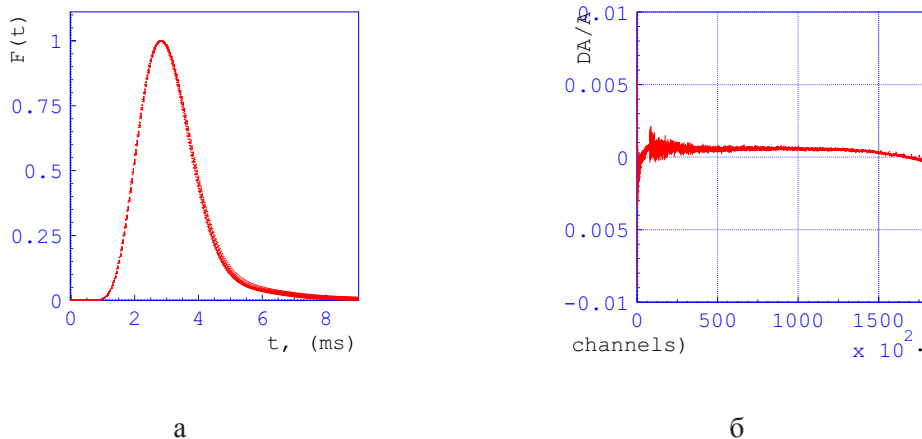


Рис.(1.10)9. (а) Форма импульса с формирователя; (б) Отклонение от линейной зависимости модуля формирователя.

Для модуля концентратора был разработан проект для XLINX. Этот проект позволяет осуществлять работу с модулями калориметра в автономном режиме, по схеме показанной на Рис. (1.10) 10. Загрузка в модуль формирователей алгоритма и массива коэффициентов для восстановления амплитуды и времени сигналов с кристаллов производится с персонального компьютер (PC) через модуль концентратора, для чего было разработано соответствующее программное обеспечение. После загрузки проектов в схемы XLINX формирователя и концентратора на PC запускается программа, активирующая проекты в этих модулях, которые по приходу сигнала запуска (внешнего или внутреннего) осуществляют формирование посылки данных с модуля формирователя в модуль концентратора, а с последнего в PC, где данные записываются в файл. Проекты и соответствующее программное обеспечение были разработаны и проверены. Данное программное обеспечение позволяет осуществлять считывание 64 амплитуд с 16 каналов с частотой более 300 Гц. Для работы с реальной системой сбора данных, планируется использование оптической линии связи, что позволит существенно увеличить частоту считывания модуля концентратора. Разработка проекта и программного обеспечения для оптической линии связи запланированы на следующий год.

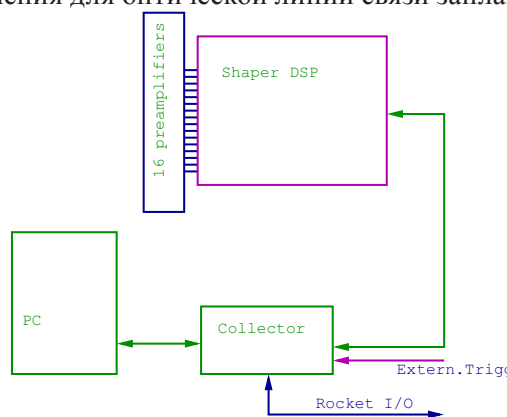


Рис.(1.10)10. Схема работы с модулями калориметра в автономном режиме.

Модуль концентратора включает в себя калибровочный блок. Этот модуль позволяет генерировать сигналы заданной формы для имитации сигналов с кристаллов. На Рис.(1.10)11 показаны сигнал со счетчика CsI(Tl) и сигнал калибровочного модуля. Различие сигналов не превышает 2%.

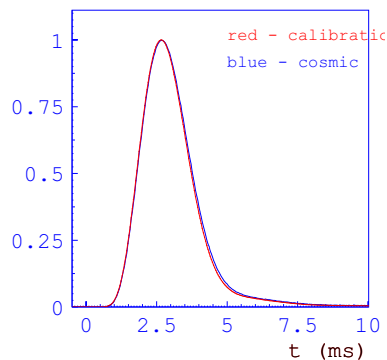


Рис.(1.10)11. Форма сигналов со счетчика CsI(Tl) (синий) и сигнал калибровочного модуля (красный).

Для торцевого калориметра, где предполагается использовать кристаллы чистого CsI необходимо использование новых фотоприемников. В качестве таковых планируется использование фотопентодов - фотоумножителей с тремя динодами (Рис.(1.10) 12). Такие приборы могут работать в магнитном поле до 1,5 Т.

Для работы внутри большой установки очень важна долговременная работоспособность и стабильность характеристик приборов. Команда ИЯФ продолжила испытания характеристик фотопентодов в условиях больших световых нагрузок. Изменение чувствительности фотопентодов из-за световых нагрузок не превышает 2% (Рис. (1.10)13)).



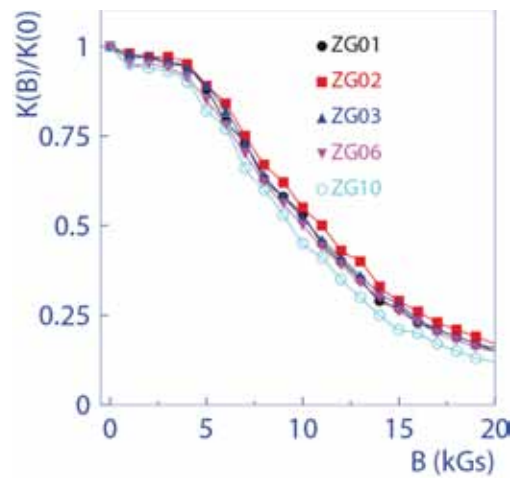
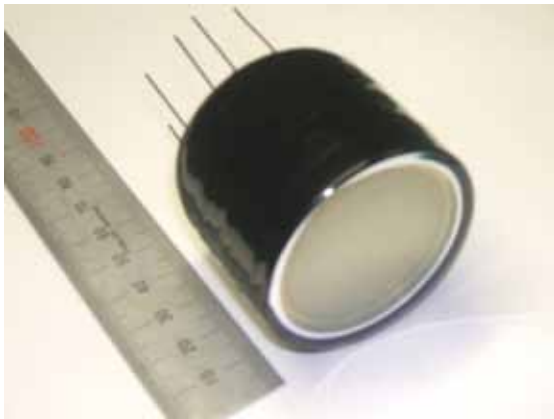


Рис.(1.10)12. Вакуумный пентод фирмы Хамаматсу.

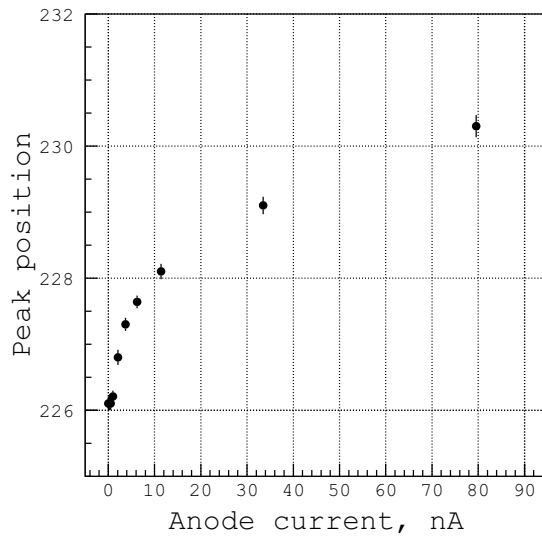


Рис.(1.10)13. Зависимость положения пика  $^{137}\text{Cs}$  от среднего анодного тока фотопентода.

В работах принимали участие: Аринштейн К.Э, Аульченко В.М., Бондарь А.Е., Бузулуцков А.Ф., Винокурова А.Н., Воробьев В.С., Габышев Н.И., Гармаш А.Ю., Елифанов Д.А., Жилич В.Н., Жуланов В.В., Зюкова О.А., Кузьмин А.С., Матвиенко Д.В., Полуэктов А.О., Усов Ю.В., Шварц Б.А., Шебалин В.Е., Эйдельман С.И.

## 1.11 Эксперимент BABAR

В коллаборации BABAR состоят 11 сотрудников ИЯФ. Детектор BABAR набирал статистику на накопителе PEP-II в SLAC (США) с 1999 по 2008 год. Обработка накопленных данных продолжается. В настоящее время анализируется около 100 процессов. В 2010 году было опубликовано около тридцати работ.

Основной целью этого эксперимента является измерение CP-нарушения в распадах нейтральных B- мезонов. Другими не менее важными задачами являются прецизионное измерение распадов B-, D-мезонов и  $\tau$ -лептонов, а также поиск их редких распадов. Хотя детектор оптимизирован для исследования CP-асимметрии, он также подходит для изучения других процессов в этой области энергий.

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

В 2010 году был завершен цикл работ по измерению мезон-фотонных переходных формфакторов для псевдоскалярных мезонов  $\pi^0$ ,  $\eta$ ,  $\eta'$  и  $\eta_c$  при больших квадратах переданного импульса ( $Q^2$ ), от 4 до 40  $\text{ГэВ}^2$ .

Полученные данные по переходным мезон-фотонным формфакторам позволяют получить уникальную информацию о мезонных волновых функциях. Эти функции описывают импульсные распределения кварков внутри мезонов и используются для теоретических расчетов множества процессов в квантовой хромодинамике (КХД). Наиболее важным и неожиданным результатом проведенных измерений является то, что волновая функция  $\pi^0$  мезона сильно отличается от волновых функций других легких мезонов  $\eta$  и  $\eta'$ . Измеренные нормированные формфакторы для  $\pi^0$ ,  $\eta$  и  $\eta'$  мезонов показаны на рисунке (1.4) 1 как функции  $Q^2$ . Горизонтальной линией показано значение асимптотического предела формфактора, вычисленное в рамках КХД. Формфактор  $\pi^0$  мезона в отличие от формфакторов для  $\eta$  и  $\eta'$  превышает асимптотический предел при  $Q^2 \simeq 10 \text{ ГэВ}^2$  и будет приближаться к нему сверху. Такое поведение может быть объяснено предположением, что волновая функция  $\pi^0$  мезона значительно шире, чем соответствующие функции для  $\eta$  и  $\eta'$ .

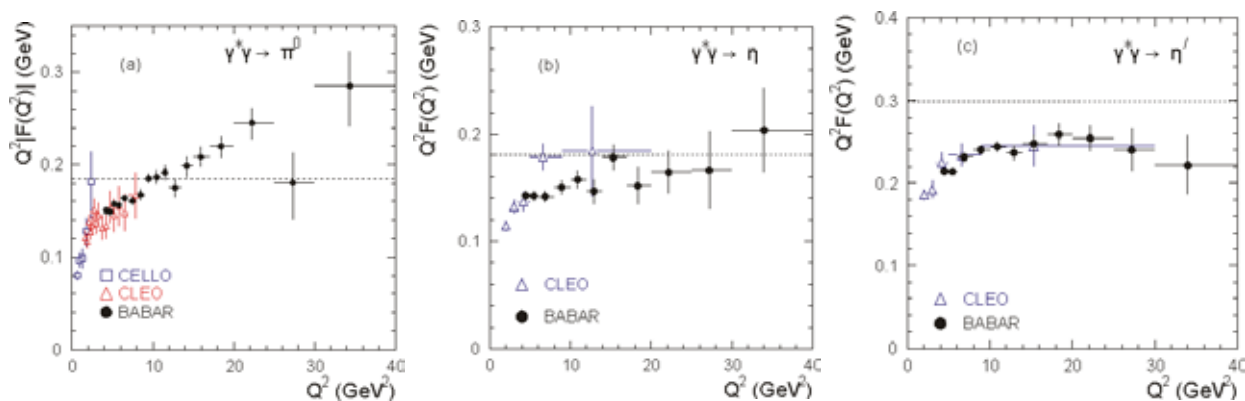


Рис. (1.4)1. Нормированные мезон-фотонные переходные формфакторы для  $\pi^0$ (a),  $\eta$ (b) и  $\eta'$ (c) мезонов. Горизонтальная пунктирная линия показывает значение асимптотического предела для формфактора.

Ожидается, что из-за большой массы с кварка формфактор для  $\eta_c$  мезона будет слабо зависеть от формы волновой функции. Измерение, проведенное с детектором BABAR, подтверждает это предсказание КХД.

Результаты, полученные на детекторах BABAR и Belle, показали необходимость продолжения экспериментов в данной области энергий, но с заметно более высокой светимостью. Принято решение о строительстве такой установки SuperB-фабрики в Италии. Физики ИЯФ активно участвуют как в разработке ускорителя, так и детектора.

Идентификация частиц в детекторе для SuperB будет осуществляться системой регистрации черенковских колец DIRC. Физики ИЯФ участвуют в разработке программы моделирования све-

тосбора для этой системы. Ими было предложено дополнить DIRC детектором черенковских колец на основе “фокусирующего” аэрогеля (FARICH). Это предложение сейчас изучается коллаборацией. Детектор FARICH предлагается разместить между дрейфовой камерой и торцевым калориметром. В детекторе используется многослойный фокусирующий аэрогель и пиксельные фотонные детекторы на основе микроканальных пластин. Общее количество каналов электроники ожидается около 20 тысяч. Данная система увеличивает телесный угол для идентификации частиц с большими импульсами. Моделирование показывают, что в диапазоне импульсов до 5 ГэВ/с достоверность идентификации пионов и каонов будет превышать 5 стандартных отклонений.

## 1.12 Участие в эксперименте ATLAS на Большом Адронном Коллайдере (LHC).

Для экспериментов на Большом Адронном Коллайдере 2010 год стал первым успешным годом полномасштабной работы. 30-го марта были впервые получены столкновения пучков протонов при рекордной энергии 7 ТэВ в системе центра масс. В течение года постепенно улучшались параметры коллайдера: число сгустков протонов превысило 400, пиковая светимость достигла  $2 \cdot 10^{32}$   $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$ , а энергия, запасенная в пучках, 28 МДж.

Интеграл набранной статистики составил 45 обратных пикобарн. Анализ этих данных позволил измерить сечения известных процессов Стандартной Модели в новой области энергии, а также начать поиск Новой физики. В частности, были выделены более 20 тысяч событий рождения векторных бозонов (W и Z) и несколько десятков событий с рождением топ кварка и антикварка. Было опубликовано 25 работ, в части из них установлены лучшие в мире верхние пределы для новых или экзотических процессов.

В конце года в течение одного месяца набирались данные при столкновении ионов свинца. Эти события характеризуются еще большей, чем при столкновении протонов, множественностью треков заряженных частиц (около 1000 на столкновение). Детектор ATLAS впервые обнаружил эффект значительного дисбаланса энергии адронных струй при центральных столкновениях тяжелых ионов, который указывает на образование качественно нового состояния материи при очень больших плотностях энергии. Этот эффект был предсказан теоретиками (в частности, Бьеркеном) еще в 80-х годах.

В 2010 году физики группы ИЯФ участвовали в наборе данных в пультовой управления экспериментом (ATLAS point 1) в рамках системы калориметров на жидком аргоне. Также велась работа по контролю и анализу качества данных калориметров и их калибровке. Как и прежде, особое внимание уделялось “пресемплеру” (предливневому мини-детектору) торцевого электромагнитного калориметра – системе, за которую ИЯФ был полностью ответственным на всех этапах, от конструирования и пучковых тестов до установки в детектор и запуска.

Также активизируются работы по анализу физических процессов.

С весны 2009 года в рамках коллаборации с университетами Питтсбурга и Упсалы ведутся работы по изучению возможности наблюдения тяжелых майорановских нейтрино в канале с двумя лептонами и двумя струями в конечном состоянии в рамках модели зеркальной симметрии (Left-Right Symmetric Model), см. Рис.(1.12)1. Эта модель может объяснить наличие ненулевой массы у обычных легких нейтрино (которое следует из наблюдения их осцилляций), а также возникновение асимметрии между материей и антиматерией (барионное число B и лептонное число L могут нарушаться по отдельности, при условии сохранения B-L). Можно заметить, что эта модель комплиментарна многим моделям суперсимметрии, поскольку для последних характерна большая недостающая энергия (missing transverse energy) в событии.

Было проведено полное моделирование и реконструкция процессов эффекта (для нескольких значений масс тяжелого промежуточного бозона  $W_R$  и майорановских нейтрино) и фоновых процессов. Обработана вся доступная к настоящему времени для анализа статистика (34 обратных пикобарн), набранная детектором ATLAS в 2010 году. Число отобранных событий в данных согла-

суется с ожидаемым из моделирования вкладом фоновых процессов Стандартной Модели. На рис. (1.12) 2 показана исключенная на уровне 95 % область масс правого векторного бозона и майорановского нейтрино. Даже при пока небольшой набранной статистике это существенное улучшение по сравнению с результатами Теватрона (предел на массу тяжелого векторного бозона на уровне 740 ГэВ). Доклад сотрудника ИЯФ Кирилла Скопня по данной теме "ATLAS sensitivity to Left-Right Symmetry at 7 TeV" на семинаре ЦЕРН-МНТЦ (1-5 сентября 2010, ИЯФ, Новосибирск) занял первое место в конкурсе молодых ученых.

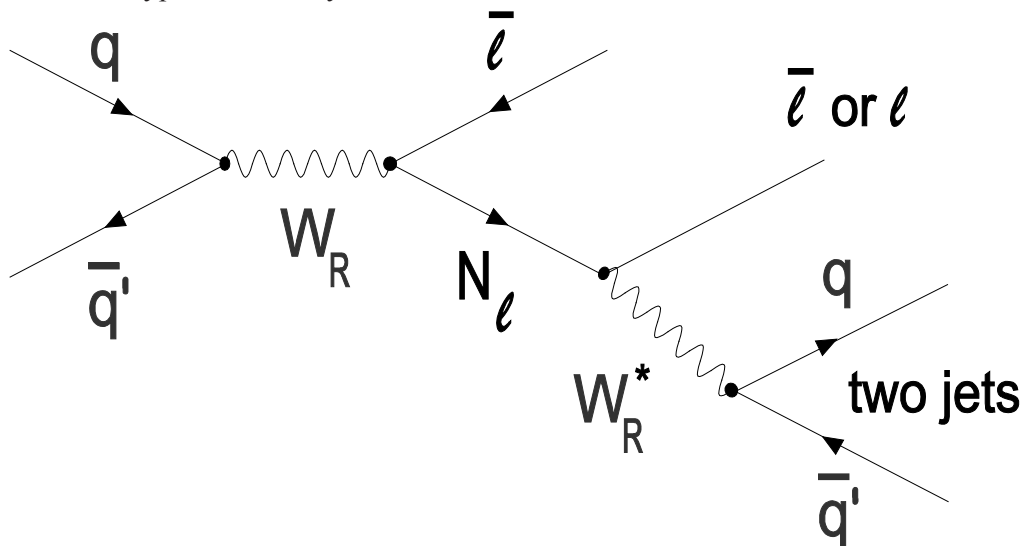


Рис.(1.12)1. Диаграмма процесса рождения тяжелого правого  $W_R$  бозона с последующим распадом на лептон и тяжелое майорановское нейтрино  $N_1$  в модели зеркальной симметрии (Left-Right Symmetric Model). В конечном состоянии регистрируются два лептона и две адронные струи.

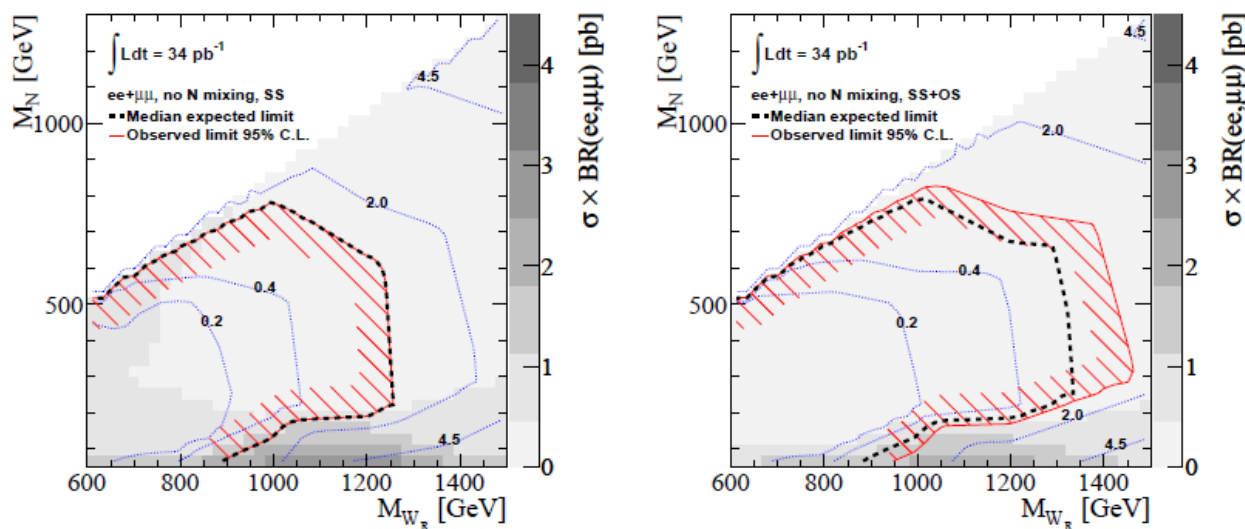


Рис.(1.12)2. Ожидаемый (median expected) и установленный (observed) верхние пределы на массы тяжелого правого  $W_R$  бозона и тяжелого майорановского нейтрино  $N$ . Левая диаграмма для событий с лептонами одного вида и знака (SS = Same Sign) в конечном состоянии, правая – включает также события с лептонами разного знака (OS = Opposite Sign). Граница исключенной (на уровне 95 %) области выделена красной штриховкой. Контурсы показывают соответствующие верхние пределы на сечения (пикобарн).

Также ведется большая работа по развитию компьютерной инфраструктуры и соответствующего программного обеспечения. Данные от эксперимента такого масштаба (несколько петабайт входных данных в год) могут быть сохранены и обработаны только при хорошо скоординированной работе многих мощных вычислительных кластеров по всему миру, использующих передовую технологию распределенных вычислений GRID. Пиковая нагрузка сети достигала 6 гигабит в секунду.

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

Повышается мощность GRID-кластера ИЯФ, улучшается пропускная способность каналов связи. Развивается сотрудничество с компьютерными центрами НГУ и СО РАН.

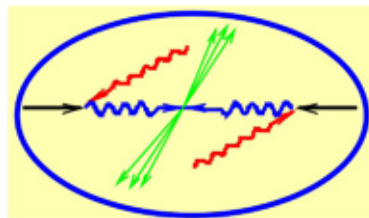
Также физики и программисты ИЯФ активно работают в группе системных администраторов для системы сбора данных и триггера. Они обеспечивают установку и поддержку программного обеспечения всей системы сбора и контроля данных. Важной частью работы является запуск компьютерного оборудования для триггера высокого уровня (HLT – High Level Trigger). В третьем и четвертом кварталах 2010 года было запущено 10 крейтов нового оборудования, что позволило добавить к HLT ферме 5000 ядер.

В настоящее время разрабатывается проект модернизации коллайдера LHC с целью повышения светимости на порядок, до  $10^{35}$  см<sup>2</sup>сек<sup>-1</sup>. В связи с этим также начаты работы по модернизации детектора ATLAS для работы на такой светимости.

Группа ИЯФ принимает участие в эксперименте по исследованию работоспособности жидкоаргоновых калориметров детектора ATLAS при светимости  $10^{35}$  см<sup>2</sup>сек<sup>-1</sup>. Для этих целей были изготовлены мини-модули калориметров (электромагнитного, адронного и переднего), которые помещены в криостаты с жидким аргоном. На выведенном пучке протонов с энергией 50 ГэВ ускорителя У-70 в Протвино ведется облучение модулей (интенсивность пучка может изменяться в широких пределах:  $10^7 \div 10^{12}$  частиц в секунду). Группа ИЯФ полностью отвечает за мини-модуль электромагнитного калориметра, участвует в наборе и анализе данных (последний сеанс состоялся в апреле 2010 года).

В работах участвуют: А.В. Анисёнков, О.Л. Белобородова, С.Д. Белов, В.С. Бобровников, А.Г. Богданчиков, А.Р. Бузыкаев, А.С. Зайцев, В.Ф. Казанин, В.И. Каплин, А.А. Король, Д.С. Кривашин, Р.Е. Кусков, Д.А. Максимов, А.Л. Масленников, И.О. Орлов, С.В. Пелеганчук, А.И. Сенченко, К.Ю. Сквпень, А.М. Сухарев, А.А. Талышев, Ю.А. Тихонов.

## 1.13 Фотонный коллайдер



Линейный коллайдер уже много лет рассматривается как следующая после LHC установка по физике частиц на большие энергии. Кроме  $e^+e^-$  столкновений на них планируются встречные фотонные пучки, основанные на лазерной конверсии электронов в высокоэнергичные фотоны.

К сожалению, подходящий для начала строительства момент (десять лет назад) был упущен и сейчас решение откладывается до получения результатов на LHC, свидетельствующих о наличии новой физики в области энергий 0,1 - 3 ТэВ. Имеется два проекта: ILC (International Linear Collider), базирующийся на сверхпроводящих ускоряющих структурах, и CLIC (Compact Linear Collider) – теплый ускоритель с накачкой энергии с помощью дополнительного пучка. На CLIC можно получить втрое большее ускоряющее поле, поэтому он рассматривается как коллайдер на максимальные энергии (до  $2E = 3 - 5$  ТэВ), в то время как ILC является более предпочтительным для энергий ниже 1 ТэВ.

Концепция фотонного коллайдера достаточно хорошо проработана. Дальнейшие шаги направлены на улучшение параметров, поиску оптимальных технических решений и их проверке. В отчетном году мы вынесли на рассмотрение два новых предложения.



### 1. Фотонные коллайдеры без охлаждающих колец.

Светимость фотонного коллайдера примерно пропорциональна геометрической светимости электрон-электронных столкновений, для чего требуются электронные пучки с минимально возможными поперечными эмиттантами. Электроны получают в пушках, в которых электроны выбиваются из катода при облучении короткими лазерными импульсами. Для дальнейшего уменьшения поперечных эмиттансов используются накопители-охладители. В электронных пушках эмиттанс ограничен эффектами пространственного заряда. Если бы удалось уменьшить поперечные эмиттансы пучков в пушках, то можно было бы вообще отказаться от накопителей-охладителей, уменьшив стоимость проекта и, возможно, даже повысив светимость. Наша идея [1-2] состоит в том, что пучок с малыми поперечными эмиттантами можно получить путем объединения «поезда» пучков с малыми зарядами (от одного или нескольких источников) после их ускорения до энергий, при которых эффекты пространственного заряда несущественны. Объединение может быть осуществлено за счет небольшой разности в энергиях пучков, то есть за счет увеличения продольного эмиттанта. Это можно сделать, поскольку продольные эмиттансы в электронных пушках значительно меньше, чем требуется для линейного коллайдера. Результирующая светимость фотонного коллайдера при использовании этого метода может быть увеличена в 3-10 раз соответственно для неполяризованных и поляризованных пучков.

### 2. Лазерная система для фотонного коллайдера CLIC.

На ILC расстояние между пучками электронов в «поезде» около 100 м, что делает возможным применение кольцевого оптического резонатора, в котором лазерный пучок сталкивается со многими электронными пучками, что значительно снижает требование к мощности лазерной системы. В коллайдере CLIC ситуация сложнее: расстояние между пучками всего 0,5 нс (15 см), а длина «поезда» из 354 электронных пучков составляет 177 нс (53 м), так что резонатор здесь не подходит и нужно использовать однопролетную схему. При этом лазерная система должна давать 5 кДж лазерной энергии за 177 нс с частотой повторения 50 Гц. В принципе, возможно использование твердотельных лазеров с диодной накачкой, однако требуется суммарная мощность диодов 15 МВт, что нереально в ближайшее десятилетие.

Наша идея [3] состоит в том, что лазерную среду можно накачать с помощью лазера на свободных электронах (ЛСЭ). Время накопления твердотельной лазерной среды составляет около 1 мс (в 5000 раз больше длины «поезда» электронных пучков), что позволяет объединить вместе энергию фотонов, генерируемых ЛСЭ за 1 мс. Этот подход намного проще, чем использование непосредственное использование световых импульсов от ЛСЭ для конверсии электронов в высокоэнергичные фотоны. Для экономии потребляемой энергии ЛСЭ должны базироваться на сверхпроводящих резонаторах с рекуперацией энергии. Средняя световая мощность двух ЛСЭ должна составлять около 180 кВт, средняя потребление от сети при этом будет 1-2 МВт.

В работах принимал участие В.И. Тельнов

**2**

**Электро-  
и фотоядерная  
физика**





## 2.1 Эксперименты с внутренними мишенями

В 2010 году проводилась обработка результатов эксперимента по измерению отношения сечений упругого рассеяния электронов/позитронов на протоне ( $R = \sigma_{e+p} / \sigma_{e-p}$ ). Этот эксперимент интересен тем, что он позволяет определить величину вклада двухфотонного обмена (ДФО) в этом процессе. В свою очередь, информация о ДФО, вероятно, даст возможность объяснить драматические противоречия в результатах недавних экспериментов по измерению формфакторов протона, выполненных в TJNAF, США, с помощью поляризационной методики, с результатами прежних неполяризационных измерений, где формфакторы определялись с помощью анализа дифференциальных сечений реакции в предположении справедливости однофотонного приближения.

Важным этапом обработки является внесение радиационных поправок. Были применены формулы, представленные В.С. Фадиным и А.Л. Фельдманом (ИЯФ), описывающие излучение реальных фотонов в исследуемой реакции. Сравнение радиационных поправок, выполненных по полным формулам, с так называемым "мягкофотонным приближением", показывает различие в их результатах.

Предварительные результаты эксперимента приведены на рис.(2.1)1. В настоящее время продолжается обработка этого эксперимента.

Предполагается продолжить измерения ДФО с более высокой точностью в других кинематических условиях.

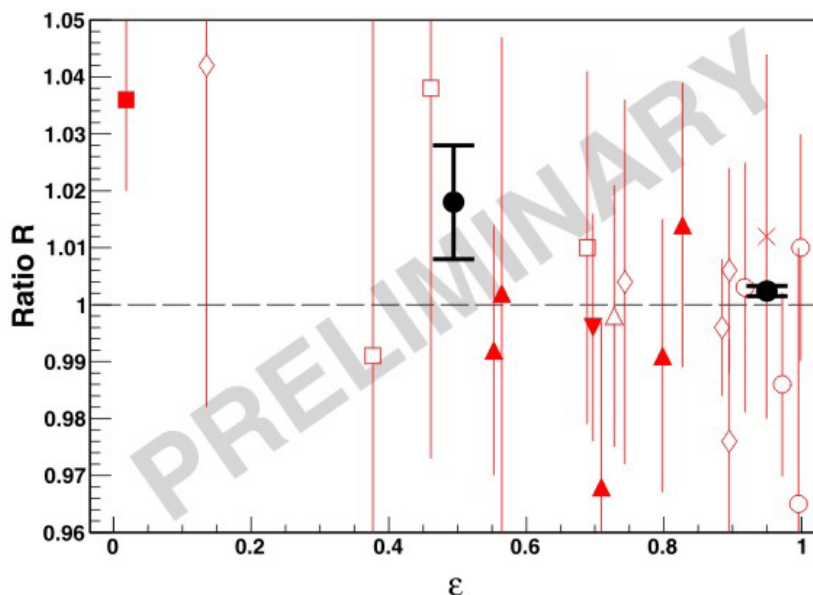


Рис.(2.1)1. Предварительные результаты эксперимента (черные кружки) в сравнении с имеющимися данными.

Также было продолжено создание системы меченых фотонов (СМФ). Было закончено изготовление дипольных магнитов D1 и D3. Были проведены испытания этих магнитов и магнитные измерения. Измерения, в общем, подтвердили правильность расчетов по интегралам полей и их однородности. Так, на рис.(2.1) 2 приведены интегралы полей вдоль направления движения пучка электронов магнитов D1 и D3 в зависимости от тока катушек магнитов. Видны небольшие расхождения в интегралах полей, они будут ликвидированы токами корректирующих катушек. Конструкторские работы по магниту D2 завершены, он находится в процессе изготовления.

Вакуумная камера экспериментального промежутка состоит из трех участков. Изготовление центральной части вакуумной камеры с накопительной ячейкой и первого (по ходу пучка) участка вакуумной камеры промежутка завершено. Конструкторские работы по последнему (по ходу пучка) участку вакуумной камеры завершены, он находится в процессе изготовления.

Завершаются конструкторские разработки дополнительных элементов диагностики положения пучка электронов в экспериментальном промежутке СМФ. Осталось лишь провести разработку конструкции вывода изображения третьего приемника синхротронного излучения (расположенного после диполя D2) из вакуумной камеры промежутка. Это нужно для оперативного

контроля положения пучка электронов в вертикальном направлении.

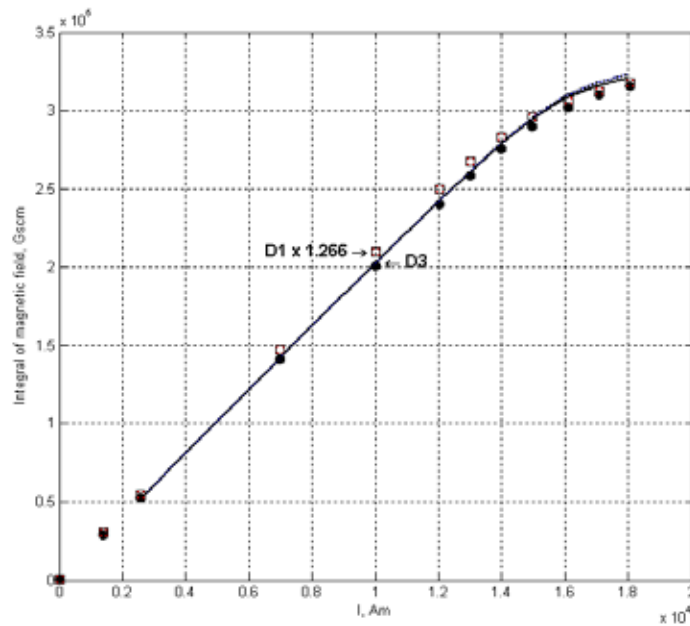


Рис.(2.1)2. Интегралы полей вдоль направления движения пучка электронов магнитов D1 и D3 в зависимости от тока катушек магнитов. Черными точками показаны результаты измерений магнита D1 (умноженные на «правильный» коэффициент 1,266), полыми квадратами – результаты измерений магнита D3. Линии – результат расчета программой MERMAID.

Детекторы системы мечения будут состоять из трех координатных детекторов и двух сцинтилляционных счетчиков-"сэндвичей". Координатные детекторы будут созданы на основе каскадных газовых электронных умножителей (ГЭУ), так как эти детекторы имеют целый ряд достоинств: они могут обладать высоким пространственным разрешением, работать в интенсивных потоках частиц. Важным аргументом явилось и то, что в ИЯФ уже разработаны 3-х слойные 2-х координатные ГЭУ для системы рассеянных электронов детектора КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М. Параметры этих детекторов хорошо подходят для СМФ и могут быть адаптированы для нашего случая. Кроме того, толщина медного покрытия на элементах ГЭУ будет доведена до 1 мкм, что позволит снизить толщину детекторов до 0,15% X<sub>0</sub> (X<sub>0</sub> - радиационная единица длины). Это важно для получения высокого разрешения СМФ по энергии и углам вылета регистрируемых электронов. Начато изготовление этих детекторов.

Проведен новый этап моделирования системы мечения. Суммарное разрешение СМФ по энергии электрона меняется от 4 до 11 МэВ для конечных энергий электрона от 500 до 1000 МэВ (при начальной энергии 2 ГэВ). Разрешение по горизонтальному углу равно примерно 2 мрад, по вертикальному - примерно 1 мрад.

Для улучшения параметров тензорно-поляризованной дейтериевой мишени в источник поляризованных атомов дейтерия установлен дополнительный насос и, тем самым, улучшен вакуум на второй ступени откачки источника. С введением этой дополнительной откачки появилась возможность изучать формирование свободно-молекулярной струи из режима переходного течения. Этот процесс слабо изучен, знание положения и размера области, после которой течение становится свободно-молекулярным, необходимо для выбора фокусирующих свойств магнитной системы источника.

Работы поддержаны грантом РФФИ № 08-02-01155, а также Федеральным агентством по образованию - Государственный контракт № П522 от 5 августа 2009 года. Эксперименты с внутренними мишенями проводятся в сотрудничестве с группами из Томска, Санкт-Петербурга, NIKHEF (Нидерланды), ANL (США), IKF JGU (Майнц, Германия).

Участники работы от ИЯФ:

Л.М. Барков, А.В. Грамолин, В.Ф. Дмитриев, С.А. Зеваков, И.В. Карнаков, Б.А.Лазаренко, Е.Б. Левичев, С.И. Мишнев, Н.Ю. Мучной, Д.М. Николенко, И.А. Рачек, Р.Ш. Садыков, Д.К. Топорков, Ю.В. Шестаков, Л.И. Шехтман.

**3**

**Теоретическая  
физика**



## 3.1 Сильное взаимодействие

### Согласование ядер эволюции при малых $x$

В.С. Фадин, Р. Фиоре, А.В. Грабовский  
Nucl. Phys. B 831 (2010) 248-261.

Продemonстрировано, что неоднозначность ядер эволюции при малых  $x$  в следующем за главным приближении позволяет согласовать Мёбиусовскую форму ядра БФКЛ и ядро уравнения БК и построить конформно инвариантное ядро БФКЛ в  $N=4$  суперсимметричной теории в следующем за главным приближении.

### Вклад скаляров в ядро уравнения БФКЛ

Р.Е. Герасимов, В.С. Фадин

Ядерная Физика, 73, No. 7 (2010) 1254-1268, Physics of Atomic Nuclei, 73, No. 7 (2010) 1214-1228.

Суперсимметричные неабелевы калибровочные теории, в частности интенсивно обсуждаемая сейчас в связи с полной интегрируемостью теория Янга-Миллса с  $N=4$  суперсимметрией, содержат скалярные частицы. Вычислен вклад таких частиц в ядро уравнения БФКЛ. Обнаружено большое сокращение между виртуальными и реальными частями этого вклада, аналогичное сокращению во вкладе кварков в КХД. Найдена причина этого сокращения. Эта причина имеет общий характер для вкладов в ядро любых частиц. Ее понимание позволяет получать полные вклады без сложных вычислений, необходимых для нахождения отдельно виртуальных и реальных частей.

### Уравнения эволюции по $x$ в Мёбиусовском представлении

В.С. Фадин, Р. Фиоре, А.В. Грабовский, А. Папа

Physics of Particles and Nuclei, 41, No.6 (2010), 935-938

Представлена Мёбиусовская форма ядра уравнения БФКЛ в следующем за главным приближении (СГП) в теориях, содержащих фермионы и скаляры в произвольном представлении цветовой группы. Неоднозначность ядер в СГП позволяет согласовать подход БФКЛ и модель цветowych диполей, а также найти квазиконформное представление ядра БФКЛ.

### Мёбиусовское представление ядра БФКЛ

В.С. Фадин

In: Subtleties in Quantum Field Theory, Ed. D.Diakonov, Gatchina, 2010

Открытая Л.Н. Липатовым конформная инвариантность уравнения БФКЛ для рассеяния бесцветных частиц в главном логарифмическом приближении (ГЛП) чрезвычайно важна для интегрируемости уравнения. Поэтому очень важно знать конформные свойства ядра БФКЛ в следующем за главным порядке (СГП). Очевидно, в КХД конформная инвариантность нарушается бегущей константой связи. Оказывается, что неоднозначность ядра в СГП, обеспечивающая возможность перераспределять радиационные поправки между ядром и импакт-факторами, позволяет нам найти квази-конформное представление ядра, в котором Мёбиусовская инвариантность нарушается только в членах пропорциональных бета-функции. Данная свобода также позволяет согласовать подход БФКЛ и модель цветowych диполей.

### Проверка условия реджезации глюона в следующем за главным порядке.

#### Кварковая часть

М.Г. Козлов, А.В. Резниченко, В.С. Фадин

Препринт ИЯФ 2010-26, 27 стр.; принято к печати в журнал Ядерная Физика

Рассматривается условие бутстрапа для рождения глюона в мультиреджевской кинематике в следующем за главным порядке. Условия бутстрапа вытекают из требования совместимости реджевской формы амплитуд в КХД с  $s$ -канальной унитарностью и представляют собой нелинейные связи между траекторией и вершинами реджезованного глюона. Их выполнение обеспечивает ред-



жезацию глюона, то есть реджевскую форму как упругих, так и неупругих амплитуд. Рассматриваемое условие является единственным, проверка которого не была проведена до сих пор. Демонстрация его выполнения является заключительным шагом в доказательстве реджезации глюона в следующем за главным логарифмическим приближении. В данной статье эта демонстрация проведена для кварковой части условия бутстрапа.

**Квантовая хромодинамика: возмущенческий и невозмущенческий подходы**

Б.Л. Иоффе, В.С. Фадин, Л.Н. Липатов  
Cambridge University Press, 2010

Книга посвящена теории сильных взаимодействий - КХД. Она содержит краткое введение в КХД и описание ее важнейших свойств, таких как асимптотическая свобода, спонтанное нарушение киральной симметрии, квантовые аномалии и вакуумная структура КХД. Кроме этого, книга охватывает различные аспекты возмущенческого и невозмущенческого подходов к КХД, которые не столь широко обсуждаются в других источниках: расходимость ряда теории возмущений, правила сумм КХД, уравнения эволюции, цветовая когерентность, подход ВФКЛ, эффективное действие для высоких энергий, интегрируемость БФКЛ динамики.

**Зависящая от спина часть сечения взаимодействия  $p\bar{p}$  и Ниджменгенский потенциал**

В.Ф. Дмитриев, А.И. Мильштейн, С.Г. Сальников  
Physics Letters B 690, 427 (2010)

Рассмотрено низкоэнергетическое взаимодействие протона с антипротоном с учетом поляризаций обеих частиц. Соответствующее сечение вычислено с использованием Ниджменгенского нуклон-антинуклонного оптического потенциалов. Полученные сечения использованы при анализе поляризации, возникающей в результате взаимодействия пучка неполяризованных антипротонов с поляризованной водородной мишенью. Показано, что при реалистических параметрах накопителя и мишени механизм фильтрации обеспечивает заметную поляризацию за время, сравнимое со временем жизни пучка в накопителе.

**Сшивка тяжёло-лёгких токов в КХД и HQET в трёх петлях**

S. Bekavac, А.Г. Грозин, P. Marquard, J.H. Piclum, D. Seidel, M. Steinhauser  
Nucl. Phys. B 833 (2010) 46-63

Мы рассматриваем токи, построенные из полей тяжёлого и лёгкого кварка в квантовой хромодинамике, и вычисляем их сшивку с эффективной теорией тяжёлого кварка с трёхпетлевой точностью. В качестве приложения, мы получаем пертурбативные поправки третьего порядка к отношениям констант распада  $B$ -мезона.

**Сшивка полей тяжёлого кварка в КХД и HQET в трёх петлях**

А.Г. Грозин  
Phys. Lett. B 692 (2010) 161-165

Связь поля тяжёлого кварка в КХД и соответствующего поля в HQET вычислена вплоть до трёх петель, и во всех порядках в пределе большого  $\beta_0$ . Соответствующая связь поля электрона в КЭД и модели Блоха-Нордсика калибровочно-инвариантна во всех порядках. Мы также доказываем, что  $\overline{MS}$  аномальная размерность электронного поля в КЭД зависит от калибровочного параметра только в одной петле.

**Сшивка КХД и HQET в трёх петлях**

А.Г. Грозин  
Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 205-206 (2010) 301-307

Обсуждается сшивка КХД/HQET для поля тяжёлого кварка и тяжёло-лёгких кварковых токов с трёхпетлевой точностью.

**Спектр масс в суперсимметричной квантовой хромодинамике  
и проблемы с дуальностью Зайберга.**

**Равные массы кварков**

В.Л. Черняк

ЖЭТФ, 137 (2010), стр. 437-459, (JETP, 110 (2010) 383-405)

Найден аналитически спектр масс в суперсимметричной квантовой хромодинамике (SQCD) с произвольным числом цветов  $N_c$  и кварковых ароматов  $N_f$  для кварков с равными массами, в рамках динамического сценария, в котором кварки конденсируются бесцветными парами ( $\bar{Q}Q$ ), тогда как цвет остается ненарушенным. Результаты оказались качественно отличающимися от многочисленных предыдущих публикаций в литературе, основанных на гипотезе о дуальности, предложенной N. Seiberg. Показано, что (в отличие от несуперсимметричной квантовой хромодинамики) как спектры масс, так и даже фазовые состояния теории чрезвычайно чувствительны к соотношению между числом цветов  $N_c$  и числом ароматов кварков  $N_f$ . Получено, что спектры масс прямой и дуальной теорий отличаются параметрически, что свидетельствует о том, что эти теории не эквивалентны.

**О спектре масс в суперсимметричной квантовой хромодинамике.**

**Неравные массы кварков**

В.Л. Черняк

ЖЭТФ, 138 (2010), стр. 1-12, (JETP, 111 (2010) 949-961)

Найден аналитически спектр масс в суперсимметричной квантовой хромодинамике (SQCD) с произвольным числом цветов  $N_c$  и кварковых ароматов  $N_f$  для кварков неравных масс, в рамках динамического сценария, в котором кварки конденсируются бесцветными парами ( $\bar{Q}Q$ ). Показано, что, в зависимости от числа цветов и ароматов кварков и от соотношений между массами кварков, теория может находиться в четырех различных фазах. Описаны свойства этих фаз и найдены спектры масс в каждой из них.

**Эксклюзивные фотон-фотонные процессы**

В.Л. Черняк

Chinese Physics C, 34 (2010) 822-830

Дан обзор современного состояния экспериментальных и теоретических исследований различных эксклюзивных процессов с двухфотонными начальными состояниями. Подробно обсуждается, какая информация о свойствах волновых функций адронов может быть извлечена из появившихся в последнее время новых экспериментальных измерений сечений таких процессов. Проведено сравнение с предсказаниями различных теоретических моделей.

**Поляризация нуклонов в процессе  $e^+e^- \rightarrow N\bar{N}$  вблизи порога**

А.Е. Бондарь, В.Ф. Дмитриев, А.И. Мильштейн, В.М. Страховенко

e-Print: arXiv:1012.4638 [hep-ph] Dec 2010.

Процесс  $e^+e^- \rightarrow N\bar{N}$  изучается вблизи порога с учетом поляризации всех начальных и конечных частиц. Благодаря зависимости от энергии электромагнитных форм факторов  $G_E(Q^2)$  и  $G_M(Q^2)$ , обязанной взаимодействию нуклонов в конечном состоянии, сильную энергетическую зависимость обнаруживает и поляризация нуклонов  $\zeta^N$ . Показано, что измерение  $\zeta^N$  и дифференциального сечения процесса позволяет определить как модуль отношения, так и относительную фазу этих формфакторов. Для анализа поляризации используются форм факторы, вычисленные с помощью Парижского  $N\bar{N}$  оптического потенциала. Оказалось, что степень поляризации,  $|\zeta^N|$ , достаточно высока в довольно широком интервале энергий выше порога реакции. Будучи особенно высокой для продольно поляризованных пучков, поляризация остается заметной даже если оба  $e^+e^-$  пучка не поляризованы.

**Влияние изменения массы кварков на нуклеосинтез во время Большого Взрыва**

J.C.Berengut, В.Ф.Дмитриев, V.V.Flambaum

Phys.Lett., B683 (2010) 114

Мы вычисляем влияние изменения токовой массы лёгких кварков,  $m_q$ , на стандартный нуклеосинтез при Большом Взрыве. Изменение  $m_q$  во время нуклеосинтеза меняет скорости ядерных реакций и, следовательно, первичные распространённости через изменение энергии связи лёгких ядер. Было найдено, что относительное изменение  $\delta m_q/m_q = 0,016 \pm 0,005$  даёт лучшее согласие между наблюдаемыми первичными распространённостями и предсказанными теорией. В основном это происходит из-за уменьшения существующих расхождений для  ${}^7\text{Li}$ . Однако, этот метод игнорирует возможное изменение положения резонансов участвующих в ядерных реакциях. Предсказываемая распространённость  ${}^7\text{Li}$  сильно зависит от сечений резонансных реакций  ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$  и  $t(d,n){}^4\text{He}$ . Мы показываем, что изменение  $m_q$  во время BBN может сдвинуть положение этих резонансов от гаммовского окна, что ведёт к увеличению производства  ${}^7\text{Li}$ , усиливая тем самым литиевую проблему.

**Размерность пространства-времени  $\mathcal{D}$  как комплексная переменная:  
вычисление петлевых интегралов с помощью размерностного рекуррентного  
соотношения и аналитических свойств интегралов по  $\mathcal{D}$**

Р.Н. Ли

Nucl.Phys. B830 (2010) 474-492.

Показано, что размерностное рекуррентное соотношение и аналитические свойства петлевых интегралов как функций комплексной переменной  $\mathcal{D}$  (размерности пространства-времени) предоставляют регулярный способ получения аналитических выражений для петлевых интегралов. Эти представления имеют вид экспоненциально сходящихся сумм. Дано несколько примеров.

**Аналитические результаты для безмассовых  
Трехпетлевых формфакторов**

Р.Н. Ли, А.В. Смирнов, В.А. Смирнов

JHEP 1004 (2010) 020

Мы вычисляем точно по  $d$  мастер-интегралы для безмассовых трехпетлевых формфакторов в КХД. Вычисление основано на комбинации метода, предложенного недавно одним из авторов (Р.Ли), с другими методами: разложение по секторам реализованное в FIESTA, метод представления Меллина-Барнса и алгоритм PSLQ. Используя наши результаты для мастер-интегралов, мы получаем аналитические выражения для двух недостающих констант в  $\epsilon$ -разложении двух наиболее сложных мастер-интегралов и представляем формфакторы в полностью аналитическом виде.

**Размерностное рекуррентное соотношение: простой способ  
вычисления высоких порядков разложения по  $\epsilon$**

Р.Н. Ли, А.В. Смирнов, В.А. Смирнов

Nucl.Phys.Proc.Suppl. 205-206 (2010) 308-313

Представлены приложения метода, предложенного одним из авторов (Р.Ли). Метод основан на использовании размерностного рекуррентного соотношения и аналитических свойств фейнмановских интегралов как функций параметра размерностной регуляризации  $d$ . Метод использовался для получения аналитических выражений для двух недостающих констант в  $\epsilon$ -разложении наиболее сложных мастер-интегралов для трехпетлевых безмассовых кваркового и глюонного формфактора и, тем самым, для представления формфакторов в полностью аналитическом виде. Для иллюстрации силы метода мы приводим следующий член разложения, имеющий трансцендентальный вес 7, одного из наиболее сложных интегралов. В качестве еще одного приложения, мы представляем три ранее неизвестных члена разложения трехпетлевого непланарного безмассового пропагаторного интеграла. Наш результат выражается только через кратные  $\zeta$ -ряды в целых точках.

### Вычисление многопетлевых интегралов с помощью размерностного рекуррентного соотношения и $\mathcal{D}$ -аналитичности

Р.Н. Ли.

Nucl.Phys.Proc.Suppl. 205-206 (2010) 135-140

Мы представляем метод расчета многопетлевых интегралов, недавно предложенный автором. Представлен простой способ вывода размерностных рекуррентных соотношений, удобных для автоматизации. Приведены некоторые новые аналитические результаты.

## 3.2 CP несохранение

### Ограничения на электрический и слабый дипольные моменты W-бозона

А.Е. Блинов, А.С. Руденко

arxiv: 1010.2018[hep-ph], направлено в Phys. Lett. B

Получены ограничения на параметры CP-нарушения во взаимодействиях  $WW\gamma$  и  $WWZ$  из полных сечений аннигиляции  $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$  при  $2E \simeq 200$  ГэВ.

### Можно ли наблюдать нарушение CP-инвариантности в столкновениях тяжелых ионов?

А.С. Руденко, И.Б. Хриплович

Canadian Journal of Physics 89, 63, 2010

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

### Снова к распаду $K_{13\gamma}^+$ :

#### парциальная вероятность и T-нечетные импульсные корреляции

А.С. Руденко, И.Б. Хриплович

arxiv: 1012.0147[hep-ph], направлено в журнал "Ядерная физика"

Найдены парциальные ширины распадов  $K_{13\gamma}^+$  и T-нечетные тройные импульсные корреляции в этих процессах, обусловленные электромагнитным взаимодействием в конечном состоянии. Вклады порядка  $\omega^{-1}$  и  $\omega^0$  в соответствующие амплитуды найдены точно. Оценены вклады порядка  $\omega^1$  и показано, что они малы. Полученные результаты сравниваются с результатами других авторов. В некоторых случаях отличие оказывается весьма значительным.

## 3.3 Квантовая электродинамика

### Рождение пары фотоном в электрическом поле

В.Н. Байер, В.М. Катков

Phys. Lett. A, 374, (2010) 2201-2206.

Вероятность рождения пары фотоном в постоянном и однородном электрическом поле найдена с использованием поляризационного оператора. Получены приближенные выражения для этой вероятности в четырех взаимно перекрывающихся областях энергии фотона. В области высоких энергий вычислены поправки к стандартному квазиклассическому приближению. В области промежуточных энергий при нахождении вероятности используется метод перевала. В этой области вероятность рождения пары в электрическом поле существенно превышает соответствующую вероятность в магнитном поле. Для относительно небольших энергии фотона развито низкоэнергетическое приближение. При очень низких энергиях вычислена вероятность поглощения мягкого фотона частицами, созданными внешним полем.

**Точная теория фоторождения заряженных частиц во внешнем поле**

В.М. Катков

Тезисы доклада на международной конференции "Channaling 2010", Феррара, Италия.

Вероятность рождения пары заряженных частиц фотоном в постоянном и однородном электромагнитном поле произвольной конфигурации вычисляется с использованием мнимой части поляризационного оператора. Разделение по областям энергии фотона такое же, как в электрическом поле. Показано, что в области энергии фотона выше порога рождения пары в магнитном поле, слабое электрическое поле устраняет корневые расходимости вероятности рождения частиц на уровнях Ландау. При низких энергиях действие электрического поля на процесс является определяющим, а влияние магнитного поля связано с его взаимодействием с магнитным моментом рождающихся частиц. Такое взаимодействие проявляется, в частности, в отличии вероятностей рождения пары полев для скалярных и спинорных частиц.

**Применение метода DRA к вычислению четырехпетлевых вакуумных интегралов КЭД типа**

Р.Н. Ли, И.С. Терехов.

arXiv:1010.6117 [hep-ph]

Мы применяем метод DRA для вычисления четырехпетлевых вакуумных интегралов КЭД-типа. Для произвольной размерности  $D$  результаты имеют вид кратных сходящихся сумм. Мы используем эти результаты чтобы получить  $\epsilon$ -разложение интегралов вблизи  $D=3$  и  $D=4$ .

**Аналитическое  $\epsilon$ -разложение мастер-интегралов для трехпетлевых формфакторов и аномального магнитного момента вплоть до четырёхпетлевого трансцендентального веса**

Р.Н. Ли, В.А. Смирнов

arXiv:1010.1334 [hep-ph]

Мы аналитически вычисляем высшие члены  $\epsilon$ -разложения трехпетлевых мастер-интегралов для трехпетлевых кваркового и глюонного формфакторов и трехпетлевых мастер-интегралов для вычисления аномального магнитного момента электрона в КЭД до трансцендентального веса, типичного для четырехпетлевых вычислений, то есть, до веса 8 и 7, соответственно. Вычисление основано на комбинации метода, предложенного недавно одним из авторов (Р.Ли), с другими методами: разложение по секторам реализованное в FIESTA, метод представления Меллина-Барнса и алгоритм PSLQ.

**Плотность индуцированного заряда, создаваемого потенциальной ямой в графене**

А.И. Мильштейн, И.С. Терехов

Phys.Rev. B 81, 125419 (2010)

Рассмотрена плотность индуцированного заряда,  $\rho_{\text{ind}}(r)$ , создаваемого потенциальной ямой конечного радиуса  $R$  в графене. Результата для  $\rho_{\text{ind}}(r)$ , получен для расстояний  $r \gg R$ . Мы также получили полный индуцированный заряд вне радиуса  $r \gg R$  и внутри этого радиуса в докритическом и сверхкритическом режиме. Рассмотрение основано на удобном представлении плотности индуцированного заряда через функцию Грина электрона в поле.

**Влияние сильного лазерного поля на процесс фоторождения  $e^+e^-$  пар на релятивистских ядрах**

А. Ди Пицца, Э. Лотстедт, А.И. Мильштейн, К. Кейтель

Phys. Rev. A 81, 062122 (2010)

Мы изучаем влияние сильного лазерного поля на процесс Бетэ-Гайтлера на релятивистских ядрах. Лазерное поле, распространяющееся в том же направлении, что и падающий фотон вы-

сокой энергии, учитывается точно. Два случая подробно рассмотрены. В первом случае энергия падающего фотона в системе покоя ядра много больше массы электрона. При этом присутствие лазерного поля может существенно подавлять вероятность фоторождения при доступных вскоре параметрах лазеров. В другом случае энергия падающего фотона в системе покоя ядра близка, но меньше энергии порога рождения электрон-позитронной пары. Присутствие лазерного поля разрешает процесс фоторождения, и полученная вероятность много больше, чем вероятность рождения только в суперпозиции лазерного и кулоновского полей. В обоих случаях мы получили сильную зависимость вероятности от поляризации лазерной волны и фотона высокой энергии. Наибольшая вероятность достигается при линейной поляризации фотона, параллельной линейной поляризации лазерной волны.

### **Поляризация электрона и позитрона, рожденных в кулоновском и лазерном полях**

А. Ди Пицца, А.И. Мильштейн, К. Мюллер

Phys. Rev. A 82, 062110 (2010)

Рассмотрен процесс рождения  $e^+e^-$  пары в суперпозиции кулоновского и сильного лазерного поля. Найдена вероятность процесса, проинтегрированная по импульсу и просуммированная по проекции спина одной из частиц. Ответ получен точно по параметрам лазерного поля и в борновском приближении по кулоновскому полю. Детально рассмотрен случай циркулярной поляризации монохроматической волны. Получено очень простое аналитическое выражение для вероятности процесса и ее зависимости от поляризации одной из частиц. Вычисление проведено в квазиклассическом приближении для случая докритического лазерного поля, который имеет прямое отношение к эксперименту. Найдена поляризация рожденного электрона (или позитрона).

### **Сечение фоторождения при высоких энергиях $e^+e^-$ пары близко к концу спектра**

А. Ди Пицца, А.И. Мильштейн

Phys. Rev. A 82, 042106 (2010)

Мы рассматриваем сечение рождения электрон-позитронной пары фотоном большой энергии в сильном кулоновском поле вблизи конца электронного или позитронного спектров. Показано, что это сечение существенно отличается от результата, полученного в борновском приближении и результата, в котором кулоновские поправки получены в предположении, что обе частицы пары являются ультра-релятивистскими. Вычислено также сечение процесса тормозного излучения электроном большой энергии в сильном кулоновском поле в случае, когда конечный электрон не является ультрарелятивистским.

### **Источник позитронов для линейных коллайдеров с использованием каналирования в кристаллах**

X.Artru, R.Chehab, M.Chevallier, T. Kamitani, T. Omori, L. Rinolfi, В.М. Страховенко,

T. Suwada, A.Variola, A.Vivoli

Int.J.Mod.Phys.A25 (2010) 106

Представлен альтернативный традиционному источник позитронов для  $e^+e^-$  коллайдеров. Он содержит две последовательных мишени. В первой, кристалле вольфрама, ориентированном по пучку электронов с энергией в несколько ГэВ, большое число фотонов генерируется в процессе излучения при каналировании электронов вблизи оси  $\langle 111 \rangle$ . Эти фотоны рожают  $e^+e^-$  пары во второй, аморфной мишени, расположенной за кристаллом. Между мишенями расположен магнит, способный удалять все или часть заряженных частиц, вылетающих из кристалла. Проведена оптимизация схемы с целью совместить максимальный выход позитронов с приемлемым (позволяющим избежать разрушения мишени) значением пиковой плотности энергии, выделяемой в аморфной мишени.



## 3.4 Гравитация

### Интегрирование по связностям в дискретизованных гравитационных функциональных интегралах

В. М. Хацимовский

Mod. Phys. Lett. A, Vol. 25, pp. 351-368 (2010)

Результат интегрирования по связностям плохо определен в дискретной теории поля с некомпактной калибровочной группой с мерой Хаара, экспоненциально растущей в некоторых направлениях. Это обстоятельство изучено в случае функционального интеграла на основе дискретной формулировки первого порядка теории гравитации Эйнштейна. Результат определен как обобщенная функция векторов ребер или тензоров площадок. Сингулярная часть этой функции лежит в нефизической области. Регулярная часть экспоненциально подавлена при больших площадях/длинах и имеет ряд максимумов приближенно при эквидистантных ненулевым значениям площади. Другими словами, наиболее вероятными является ряд эквидистантных значений элементарной площади (порядка планковского масштаба  $(10^{-33}\text{см})^2$ ).

### Определение интегралов по связностям в дискретизованных гравитационных функциональных интегралах

В. М. Хацимовский

Mod.Phys.Lett.A, Vol. 25, pp. 1407-1423 (2010)

Интегрирование по связностям изучено в дискретном функциональном интеграле в формулировке первого порядка общей теории относительности. Результат определен как обобщенная функция векторов ребер или тензоров площадок. Результат предыдущей работы получен без перехода в евклидово пространство, непосредственно в пространстве-времени Минковского. Сингулярная часть этой функции лежит в нефизической области. Регулярная часть экспоненциально подавлена при больших площадях/длинах. Вычислены базисные интегралы, по которым общий функциональный интеграл по связностям может быть разложен.

### Версия представления действия Редже в терминах связностей

В. М. Хацимовский

Class. Quantum Grav., Vol. 27, p. 065003 (2010)

Для каждого 4-симплекса определим замкнутое кусочно-плоское многообразие, состоящее из этого 4-симплекса и такого же идентичного с точностью до отражения (назовем его бисимплексом). Действие гравитации для произвольного кусочно-плоского многообразия может быть выражено через сумму действий для бисимплексов, построенных на 4-симплексах, составляющих многообразие. Для каждого бисимплекса используется представление действия через матрицы вращения (связности) и тензоры площадей. Рассмотрено применение этого представления к функциональному интегрированию. Интегрирование по связностям приводит к результату, экспоненциально убывающему при больших площадях (длинах). Это важно для внутренней непротиворечивости симплицального описания пространства-времени.

## 3.5 Астрофизика

### Захват темной материи Солнечной системой. Простые оценки

И.Б. Хриплович

International Journal of Modern Physics D 20, 1, 2010

Исследован захват галактической темной материи Солнечной системой, обусловленный гравитационным трехчастичным взаимодействием Солнца, одной из планет и частицей темной материи. Даны простые оценки для сечения захвата, а также для плотности этих частиц и их распределения по скоростям вблизи Земли.

## 3.6 Нелинейная динамика и хаос, квантовые диссипативные системы

### Электронный квантовый транспорт через мезоскопические устройства: разрушение квантовой когерентности и абсорбция из-за взаимодействия с неупорядоченной средой

Проблемы квантового хаоса; избранные статьи, представленные на международную конференцию CHAOS2009, В.В. Соколов World Scientific, pp. 309-319, (2010).

Проблема разрушения квантовой когерентности при электронном транспорте сквозь двумерные мезоскопические структуры представляет особый интерес как с теоретической, так и с экспериментальной точки зрения. В публикуемом в этом сборнике докладе был дан анализ эффектов, вызванных взаимодействием электронов с многочастичной слабо-неупорядоченной средой. Входные резонансные состояния электронов в структуре, возбуждаемые через внешние каналы, приобретают ширины не только из-за распада через такие каналы, но также и благодаря возбуждению долгоживущих состояний в самой среде. В результате сечение прохождения электрона с начальной энергией описывается некогерентной суммой, с одной стороны потока, образуемого интерферирующими между собой вкладками распадов уширенных за счет внутреннего трения входных состояний и, с другой стороны, запаздывающего потока электронов, поглощенных и затем заново возвратившихся в полость прежде чем окончательно покинуть ее через те же внешние каналы. Хотя число электронов строго сохраняется при каждом акте рассеяния, заметная их часть возвращается в полость с энергиями существенно меньшими их первоначальной энергии, что происходит из-за диссипации энергии электрона за счет многочастичных эффектов в среде. Эти электроны покидают резонансную область вблизи энергии влетающих частиц и остаются незамеченными при измерениях, ограниченной областью резонансных значений энергии. Поглощение энергии электронов нарушает инвариантность по отношению к обращению времени и проявляется, в частности, в подавлении слабой локализации. Оба эффекта, разрушение когерентности и абсорбция энергии, трактуются в рамках единой микроскопической модели, основанной на общей теории резонансного рассеяния. Все обсуждаемые эффекты управляются единым параметром - спредовой шириной входных состояний.

### Баллистический электронный квантовый транспорт в присутствии неупорядоченного фона

В.В. Соколов  
J. Phys. A: Math. Theor. 43 (2010) 265102.

Рассмотрено влияние слабо неупорядоченного многочастичного фона на неупругое рассеяние электронов при прохождении сквозь двумерные открытые мезоскопические структуры. Предложен новый механизм подавления квантовой когерентности. Температура неупорядоченной среды предполагается нулевой, в то время как входная энергия электрона  $E_{in}$  может как совпадать с энергией Ферми среды, так несколько превосходить её. Одноэлектронные входные резонансы, возбуждаемые в структуре через внешние каналы, оказываются дополнительно уширенными за счет последующего возбуждения долгоживущих состояний среды. Вероятность пролета сквозь полость электрона, первоначально проникшего в неё с энергией  $E_{in}$ , оказывается из-за влияния среды некогерентной суммой двух потоков, первый из которых формируется за счет интерференции вкладов уширенных за счёт поглощения средой входных резонансов, тогда как второй представляет из себя запаздывающий поток электронов, переизлученных средой обратно в полость. Хотя число частиц строго сохраняется при каждом акте рассеяния, существует вероятность потери (абсорбции) части электронной энергии. Последняя уходит на нагревание среды. Такие электроны могут покинуть резонансный интервал и остаться поэтому незарегистрированными. В результате оказывается нарушенной симметрия по отношению к обращению времени и, как одно из следствий, возникает подавление эффекта слабой локализации. Оба эффекта: разрушение квантовой когерентности и абсорбция описываются в рамках единой микроскопической модели, основанной на общей теории

резонансного рассеяния. Все рассматриваемые эффекты контролируются в конечном итоге единым параметром - спредовой шириной входных состояний, которая и фиксирует степень потери квантовой когерентности.

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

В.В. Соколов, О.В. Жиров, Я.А. Харьков

решением оргкомитета отобрано для публикации в: Проблемы квантового хаоса; избранные статьи, представленные на международную конференцию CHAOS2010, World Scientific, (в печати)

Экспоненциальная чувствительность классических хаотических систем к любому внешнему влиянию по существу лишает смысла рассмотрение таких систем как замкнутых. Любое как угодно слабое возмущение со стороны внешней среды, носящее обычно характер шума, кардинально меняет движение системы, превращая его в необратимый случайный процесс. В противоположность этому квантовая динамика той же самой системы оказывается значительно более устойчивой по отношению к внешним возмущениям. Это важное различие обусловлено принципиальным различием в сложности классических и квантовых состояний которую можно количественно охарактеризовать числом гармоник функции распределения в фазовом пространстве в первом случае и квантовой функции Вигнера - во втором. Альтернативным показателем степени сложности квантового состояния может служить информационная энтропия Шеннона  $I(t)$ . Следует подчеркнуть, что в обоих случаях квантовые фазы не входят здесь в рассмотрение.

Как в классическом, так и в квантовом случаях чувствительность движения к внешнему возмущению принято описывать, анализируя временной распад фиделити Переса, то есть, иными словами, средневзвешенного расстояния между двумя фазовыми распределениями (классическими или квантовыми соответственно), эволюционирующими в соответствии с двумя отличающимися друг от друга гамильтонианами. Это, в частности, позволяет установить прямое количественное соотношение между степенью потери памяти о начальном состоянии с одной стороны и степенью сложности (числом гармоник) с другой. В случае классической хаотической динамики число гармоник распределения в фазовом пространстве растет со временем экспоненциально, причем темп этого роста определяется показателем Ляпунова, который характеризует экспоненциальную нестабильность классических траекторий. В то же время, число гармоник квантовой функции Вигнера в силу квантования фазового пространства растет со временем лишь степенным образом. Именно из-за этого квантовая динамика и оказывается существенно устойчивее классической.

Способ, которым проявляется разрушение квантовой когерентности зависит от природы рассматриваемой физической величины. Например, в присутствии стационарного внешнего шума естественной характеристикой движения является фиделити усредненное по реализациям шума при фиксированном его уровне  $\sigma$ . Тем самым вводится в рассмотрение усредненная матрица плотности. Поскольку эволюция последней уже не является унитарной, это влечет за собой образование смешанных состояний и подавление квантовой когерентности. Определенную таким образом функцию фиделити оказывается возможным аналитически вычислить только в двух предельных случаях: очень слабого шума ( $\sigma \ll 1$ ), когда справедлива теория возмущений, и очень сильного шума ( $\sigma \gg 1$ ), когда эволюция усредненной матрицы плотности становится марковской. В промежуточной же области умеренного шума временная эволюция фиделити обнаруживает черты масштабной инвариантности.

Образование под действием шума смешанных состояний ведет к потере памяти о начальном состоянии. Поэтому становится естественным рассмотрение инвариантной (то есть независимой от квантово-механического базиса) энтропии фон Неймана. В отличие от информационной энтропии Шеннона  $I(t)$ , энтропия фон Неймана чувствительна к квантовым фазам и поэтому остается в течение эволюции меньше последней. С течением времени энтропия  $S(\sigma; t)$  растет, монотонно приближаясь снизу к  $I(t)$ . В конечном итоге обе они сравниваются к моменту времени

$t_{(dec)}(\sigma) \sim \sqrt{\frac{\hbar}{D\sigma^2}}$  (здесь  $D$  - классический коэффициент диффузии). Фазовая когерентность оказыва-

ется к этому моменту полностью разрушенной, а система занимает в фазовом пространстве максимально допустимый при достигнутой к этому моменту степени возбуждения. После этого происходит лишь “адиабатическое” расширение при практически постоянной энтропии.

Стоит, наконец, отметить, что степень обратимости движения под влиянием стационарного шума, действующего в течение всего цикла движения вперед и назад по времени определяется “чистотой” квантового состояния в момент обращения времени  $t$ .

### **Квантовый хаос на фоне стационарного шума**

Я.А. Харьков, В.В. Соколов, О.В. Жиров

J. Sib. Fed. Univ. Math. Phys., 2010, Volume 3, Issue 3, Pages 303-310.

Изучается квантовая динамика нестационарных одномерных систем, хаотических в классическом пределе и находящихся под действием однородного внешнего шума. Исследованы стабильность и обратимость движения, которые описываются количественно с помощью единой характеристики, называемой fidelity Переса. Последняя зависит от уровня (интенсивности) шума  $\sigma$  и может быть подсчитана аналитически в пределах слабого или очень сильного шума. В частности, найдено критическое значение уровня шума  $\sigma_c(t)$ , ниже которого эффект шумового возмущения остаётся слабым вплоть до времени  $t$ . Обнаружено, что после времени Эренфеста  $t_E$  критический уровень шума алгебраически (а не экспоненциально, как в классическом случае) падает со временем. Получена оценка времени  $t_d(\sigma)$  полного исчезновения квантовой когерентности. После этого времени матрица плотности становится диагональной, а динамика приобретает марковский характер.

### **Матрица Гугля, динамические аттракторы и сети Улама**

Д.Л. Шепелянский, О.В. Жиров

e-print: arXiv:0905.4162v2 [cs.IR] (2009); Phys.Rev.E 81, 036213 (2010).

Мы исследовали свойства матрицы Гугля, полученной из дискретизованного оператора Фробениуса-Перрона для типичного отображения Чирикова с включенной диссипацией. Используемое приближение конечномерной матрицей основано на методе Улама. Этот метод, примененный к конкретной динамической модели, порождает ориентированную сеть Улама, обладающую масштабной инвариантностью и другими характеристиками, весьма похожими на соответствующие в реальной сети Интернета. Простые динамические аттракторы играют при этом роль популярных сайтов, концентрирующих на себе критерий значимости (Page Rank). Показано, что вариации параметра  $\alpha$  в алгоритме Гугля, а также параметров динамического отображения могут привести систему в делокализованное состояние, отвечающее появлению странного аттрактора, при котором используемый в поисковой системе Гугль алгоритм для вычисления коэффициента значимости сайтов (Page Rank) станет неэффективным.

### **Матрица Гугля и модель мозга**

Д.Л. Шепелянский, О.В. Жиров

e-print: arXiv:1002.4583v2. [cond-mat.dis-nn] (2010); Phys. Lett. A 374, 3206 (2010).

Метод матрицы Гугля, применяемый в информатике и в поисковиках сети Интернета, применен для анализа свойств нейронных сетей. Матрица Гугля  $G$  для нейронной сети построена на основе модели мозга, обсуждавшейся в PNAS 105 (2008) 3593. Показано, что спектр собственных значений  $G$  имеет бесщелевую структуру с долгоживущими релаксационными модами. Пейджеранг (PageRank) нейронной сети оказывается делокализованным лишь при определенных значениях демпфирующего гуглевского параметра  $\alpha$ ; исследованы свойства и остальных собственных состояний  $G$ . Обсуждено сходство и дальнейшие аналогии между глобальной сетью Интернета и нейронными сетями мозга.

**Вакуумное состояние квантовых компактонов**

О.В. Жиров, А.С. Пиковский, Д.Л. Шепелянский

e-print: arXiv:1005.0778v1 [cond-mat.stat-mech] (2010)

Подробно исследованы свойства классических и квантовых сильно нелинейных цепочек методами детального численного моделирования. Из-за сильной нелинейности классическая динамика таких цепочек остается хаотической при сколь угодно малых энергиях возбуждения. Показано, что коллективные возбуждения классических цепочек описываются звуковыми волнами с коэффициентом затухания степенным образом зависящим от волнового вектора, с показателем степени, принимающим универсальное значение. Свойства квантовых цепочек изучались с помощью квантового метода Монте Карло. Обнаружено, что низкоэнергетические возбуждения описываются эффективными фоннными модами, скорость звука в которых существенно зависит от эффективной постоянной Планка. Из наших результатов следует, что при низких энергиях квантовые эффекты приводят к подавлению хаоса и установлению квазиинтегрируемого режима эффективных фоннных мод.

**Двумерное ранжирование статей Википедии**

О.В. Жиров, Д.Л. Шепелянский

e-print: arXiv:1006.4270v1 [cs.IR] (2010), Eur.Phys.J. B 77, p.523 (2010).

Вавилонская библиотека, описанная Хорхе Луи Борхесом, хранила невероятное количество информации, существовавшей с незапамятных времен. Википедия, недавно созданная бесплатная онлайн энциклопедия, уже стала современным аналогом такой библиотеки. Извлечение информации и ранжирование наиболее нужных статей Википедии является важнейшей задачей современного общества. В то время, как пейджранк (PageRank) подчеркивает наиболее известные (цитируемые) статьи с большим числом входящих линков, чейранк (CheiRank) подчеркивает в статьях их коммуникативность - большое число исходящих линков. Таким образом возникает двухпараметрическое ранжирование статей. Используя чейранк и пейджранк, мы проанализировали свойства такого двумерного распределения всех статей Википедии (английский вариант) и показали, что оно дает разумную классификацию с богатыми и нетривиальными возможностями. Детальный (по категориям) анализ, проведенный для стран, университетов, выдающихся людей, физиков, шахматистов, для компаний, входящих в список Доу-Джонса и других категорий, показывает и эффективность, и адекватность такого ранжирования.

**4**  
**Физика плазмы**  
**и**  
**управляемый**  
**термоядерный синтез**





## 4.1 Результаты исследований на установке ГДЛ

### 4.1.1 Введение

Многие проекты термоядерных реакторов на основе магнитных систем открытого типа для удержания плазмы имеют общую структуру. Основной частью реактора является пробкотрон, где выделяется подавляющая доля термоядерной мощности, а к концам пробкотрона присоединены специальные магнитные ячейки, предназначенные для подавления продольных потоков частиц и энергии. Как было показано еще в пионерских работах, термоядерный реактор на основе пробкотрона в простейшей конфигурации из-за большого уровня продольных потерь не может иметь коэффициент усиления мощности, существенно превышающий единицу. В разные годы было предложено несколько эффективных способов ограничения продольных потоков частиц и энергии из пробкотронов: амбиполярные ячейки, гофрированные ловушки и др.

Независимо от метода подавления продольных потерь, задача создания конкурентоспособных систем термоядерного класса на основе магнитных ловушек открытого типа предъявляет ряд требований к главной реакторной части такой системы – основному пробкотрону. Одно из требований вытекает из задачи минимизации размеров будущего реактора и заключается в необходимости иметь максимально достижимую с технической точки зрения величину магнитного поля. Это ведет за собой необходимость использования простейшей осесимметричной конфигурации магнитной системы. Кроме того минимизация объема реактора требует обеспечения возможности удержания плазмы с величиной относительного давления  $\beta \approx 1$  ( $\beta$  – отношение давления плазмы к давлению магнитного поля,  $\beta = 8\pi p/B^2$ , где  $p$  – давление плазмы,  $B$  – величина магнитного поля). Третье важное требование вытекает из того обстоятельства, что удерживаемая в пробкотроне плазма с термоядерными параметрами, как правило, не может иметь изотропную в пространстве скоростей равновесную функцию распределения ионов. Это может быть обусловлено отсутствием ионов внутри «конуса потерь» в пространстве скоростей, а также инжекцией атомарных пучков с узким угловым распределением для нагрева плазмы и поддержания баланса частиц.

Таким образом, центральный пробкотрон термоядерного реактора на основе магнитной ловушки открытого типа должен быть осесимметричным и обеспечивать удержание неравновесной плазмы с термоядерными параметрами и  $\beta \approx 1$ . Перечисленные требования являются особенно жесткими для проектов термоядерных реакторов с относительно малым или нулевым уровнем потока нейтронов на, так называемых, альтернативных топливах:  $d\text{-}^3\text{He}$ ,  $p\text{-}^{11}\text{B}$ .

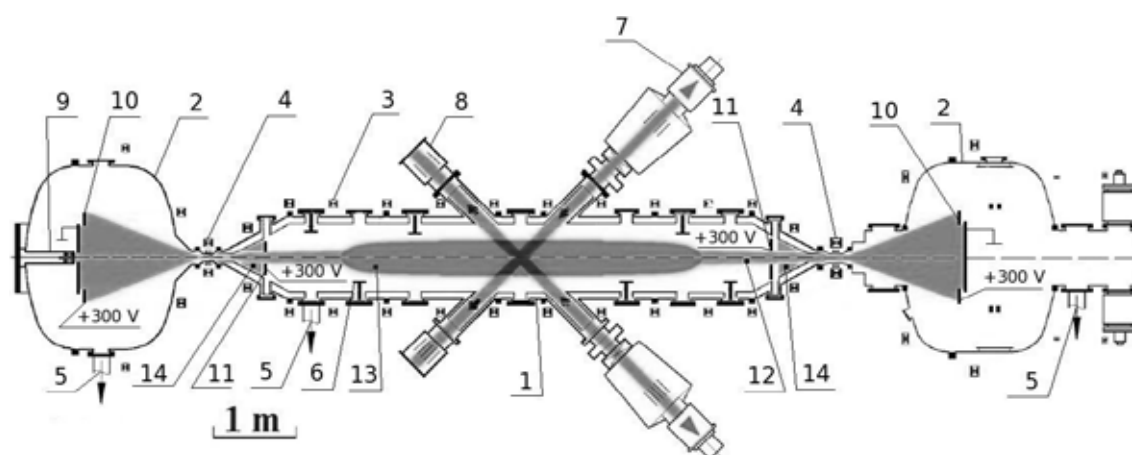


Рис.(4.1)1. Схематичное изображение установки ГДЛ: 1 – центральная вакуумная камера; 2 – торцевые баки; 3 – катушки центрального соленоида; 4 – пробочные катушки; 5 – порты вакуумной откачки; 6 – титановые испарители; 7 – инжекторы нейтральных пучков; 8 – поглотители пучков; 9 – генератор предварительной плазмы; 10 – секционированные поглотители плазмы (центральные диски заземлены, внешние кольца – под потенциалом около +300 В); 11 – лимитеры (также под потенциалом около +300 В); 12 – теплая плазма; 13 – горячие ионы; 14 – системы инжекции газа.

Установка «газодинамическая ловушка» (ГДЛ), которая в течение ряда лет работает в Институте, является хорошей моделью центральной части реактора на основе открытой ловушки, поскольку имеет магнитную систему с осесимметричной конфигурацией и предназначена для удержания неравновесной плазмы с высоким относительным давлением. Основной частью установки ГДЛ (Рис (4.1) 1.) является аксиально-симметричный пробкотрон с большим пробочным отношением, предназначенный для удержания плазмы, которая содержит две ионные компоненты с сильно различающимися энергиями. Одна из компонент - теплые ионы с изотропной в пространстве скоростей максвелловской функцией распределения имеет температуру около 200 эВ, плотность  $n_w \approx 2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$  и удерживаются в газодинамическом режиме. Другая компонента представляет собой горячие ионы, которые образуются в результате наклонной инъекции пучков атомарного водорода или дейтерия в плазму. Энергия инжектируемых атомов лежит в диапазоне 23-25 кэВ, а быстрые ионы, образовавшиеся в результате ионизации атомов, удерживаются в адиабатическом режиме, совершая продольные баунс-колебания между точками останова вблизи магнитных пробок. Энергетическое время жизни быстрых ионов в основном определяется их торможением за счет столкновений с электронами и оказывается много меньшим характерного времени их углового рассеяния. Таким образом, горячие ионы имеют анизотропную в пространстве скоростей функцию распределения, относительно малый угловой разброс, а их плотность и давление оказываются пикированными вблизи области останова. Средняя энергия быстрых ионов составляет  $E_h \approx 10 \text{ кэВ}$ , а их плотность вблизи области останова достигает  $n_h \approx 5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ . Температура электронов при этом достигает  $T_e = 230 \text{ эВ}$ .

Программа исследований на установке ГДЛ в основном ориентирована на решение фундаментальной научной проблемы удержания неравновесной плазмы с высоким относительным давлением в осесимметричном пробкотроне. Эта проблема включает следующие задачи:

1. Достижение малого уровня поперечных потерь по сравнению с продольными в режимах с высоким значением  $\beta$ . Следует отметить, что в общем случае осесимметричная магнитная ловушка не обладает конфигурацией благоприятной для обеспечения МГД устойчивого удержания плазмы.
2. Изучение влияния микронеустойчивостей на удержание плазмы. Микронеустойчивостями называют явления, связанные с генерацией электромагнитных волн в неравновесной плазме. Электромагнитные колебания способны существенно модифицировать кинетические процессы в плазме и, следовательно, влиять на ее удержание.
3. Исследования МГД равновесия плазмы в режимах с высоким значением  $\beta$ . Условие  $\beta \approx 1$  означает значительное отличие значения магнитного поля внутри плазмы от вакуумного, с чем, естественно, может быть связан ряд процессов, определяющих равновесные конфигурации.

На начало 2010 года в развитии эксперимента на установке ГДЛ был достигнут значительный прогресс. Установка была существенно модернизирована: увеличена мощность системы атомарной инъекции, увеличено магнитное поле, усовершенствован диагностический комплекс. Кроме того был проведен цикл исследований, направленный на реализацию и обоснование метода вихревого удержания, который предназначен для подавления поперечных потерь плазмы при развитии МГД неустойчивостей. Указанные результаты позволили достичь режимов с максимальным значением относительного давления вплоть до  $\beta=0,6$ , что сегодня является рекордом для осесимметричных систем открытого типа для магнитного удержания плазмы.

Настоящий раздел включает описание и результаты трех циклов экспериментальных исследований на установке ГДЛ.

Первая серия исследований была направлена на завершение обоснования метода вихревого удержания и посвящена прямой экспериментальной демонстрации вихревого движения плазмы в соответствующих режимах. Параллельно были проведены измерения предельно достижимой температуры электронов и измерены уровни поперечных потерь энергии в оптимизированных режимах с вихревым удержанием. В последней серии исследований проведены обзорные эксперименты, направленные на обнаружение возможных микронеустойчивостей.

### 4.1.2 Изучение движения плазмы при вихревом удержании

Метод вихревого удержания предполагает отказ от стабилизации МГД неустойчивости, его идея заключается в модификации неустойчивого движения плазменного столба поперек магнитного поля таким образом, чтобы линии потока плазмы оказывались замкнутыми. Это достигается путем создания зоны дифференциального вращения вблизи радиальной границы плазменного столба при помощи специальных электродов: секционированных поглотителей плазмы и радиальных лимитеров.

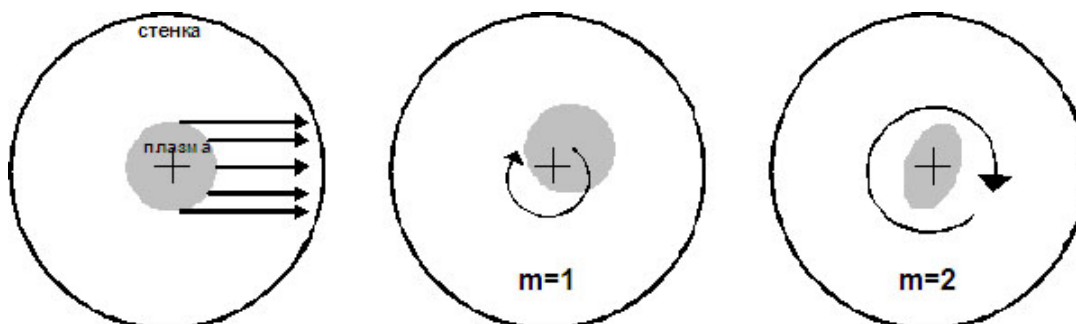


Рис.(4.1)2. Упрощенная картина движения плазменного столба без вихревого удержания (слева) и при его реализации (в центре и справа): согласно теоретической модели при вихревом движении возможны только азимутальные моды  $m=1$  и  $m=2$ .

Согласно результатам численного моделирования [9] в ГДЛ движение сечения плазменного столба в плоскости перпендикулярной магнитному полю может иметь либо характер вращения вокруг оси установки с небольшим смещением относительно оси (азимутальная мода  $m=1$ ), либо сечение плазмы приобретает эллиптическую форму, а вращение происходит вокруг оси симметрии эллипса, совпадающей с осью установки (рис.(4.1)2). В направлении параллельном магнитному полю возмущения должны распространяться на всю длину ловушки (желобковый характер колебаний). На начало 2010 года метод вихревого удержания был достаточно обоснован теоретически и экспериментально, однако со стороны эксперимента не хватало очень важной детали – прямого наблюдения вихревого движения плазмы. Поскольку, согласно выводам теории, метод вихревого удержания может быть использован в системах термоядерного класса, его окончательное обоснование представляется исключительно важной задачей.

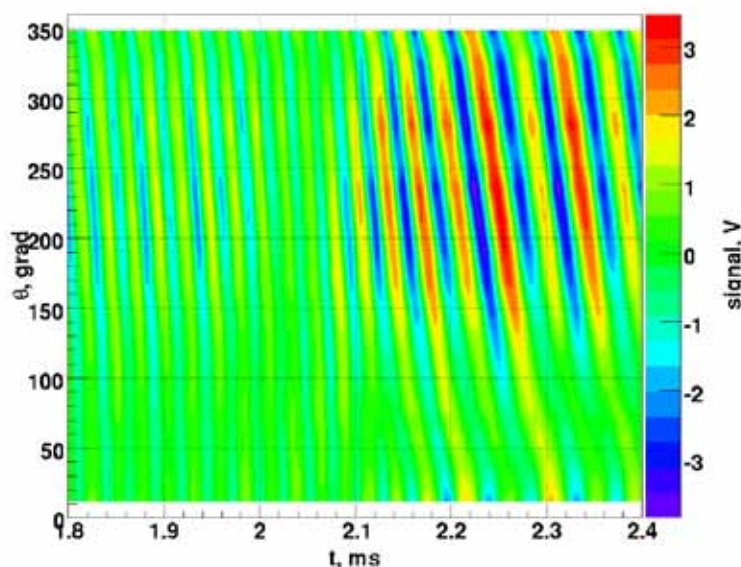


Рис.(4.1)3. Характерный вид сигналов азимутального набора зондов (колебания радиальной компоненты магнитного поля). Основные стадии: 0-1 мс — нет колебаний большой амплитуды с чётко выраженной частотой; 1-2 мс — колебания с азимутальным числом  $m=1$ ; 2-4 мс — колебания с азимутальным числом  $m=2$ ;  $>4$  мс — распад плазмы, частота колебаний заметно уменьшается на периоде колебаний.

Для изучения движения плазменного столба были сконструированы и изготовлены две системы малогабаритных магнитных зондов (катушки Мирнова), способных измерять колебания радиальной компоненты магнитного поля в диапазоне частот до 100 кГц. Одна из систем представляла собой кольцо, на котором эквидистантно были закреплены 16 зондов. Кольцо охватывало плазменный столб в окрестности области остановки горячих ионов. Другая система представляла собой сборку из 12 зондов, расположенных эквидистантно на прямой штанге длиной 0,9 м. Линейная сборка располагалась параллельно оси установки вблизи плазменного столба. Центр сборки был расположен в области с пробочным отношением 2. Каждый из зондов подключался к каналу цифрового регистратора формы импульсов, имеющего адекватное временное и амплитудное разрешение.

В ходе экспериментов, которые проводились в режиме с электронной температурой до  $T_e=200\text{эВ}$  и относительным давлением до  $\beta=0,55$ , были изучены пространственные и частотные спектры колебаний плазменного столба при помощи катушек Мирнова и других диагностик.

Обнаружено, что колебания имеют одну доминирующую моду в каждый момент времени. Однако, в режимах с максимальными параметрами, номер моды не остаётся постоянным в течение всего эксперимента. Обычный сценарий следующий: в течение первой миллисекунды от начала инжекции атомарных пучков колебаний не наблюдается, затем в промежутке от 1 до 2 мс доминирует первая мода, примерно в 2 мс происходит резкий переход ко второй моде, которая остаётся доминирующей до конца эксперимента. На рис.(4.1) 3 приведён сигнал с круговой сборки зондов Мирнова в момент смены номера моды. Первая мода на рис.(4.1) 3 доминирует до момента времени  $t = 2.1$  мс; в это время соседние «линии максимумов» переходят друг в друга. После  $t = 2.15$  мс определяющей становится вторая мода, меняется угол наклона «линий максимумов» и они начинают переходить не в соседние, а перескакивают через одну. На рис.(4.1) 4 представлены спектры данного сигнала. На представленных спектрах видно, что в период 1-2 мс, доминируют колебания первой моды, с частотой около 40 кГц, а в период 2-4 мс, главную роль играют колебания второй моды, частота которых близка к 20 кГц.

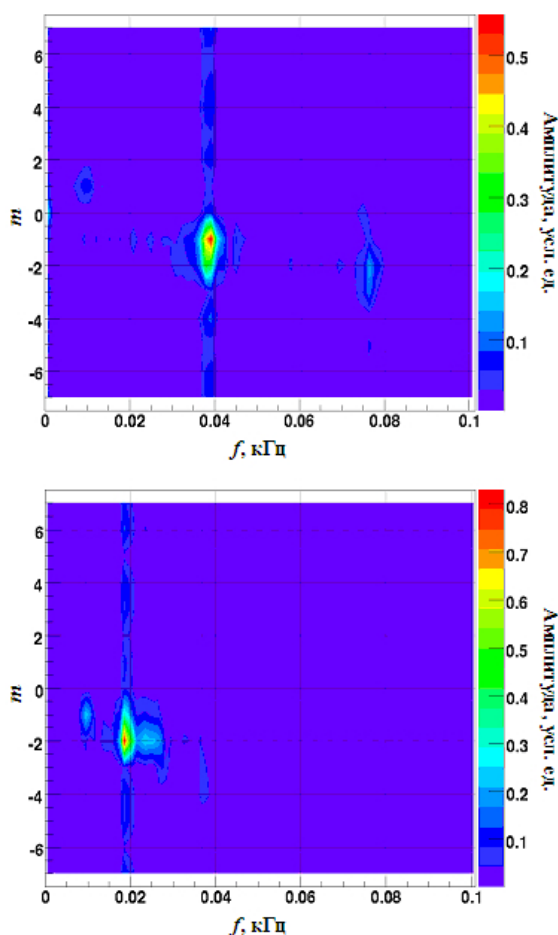


Рис.(4.1)4. Спектры сигналов 1-2 мс (вверху) и 2-4 мс (внизу)

Для интерпретации результатов отметим два обстоятельства. Во-первых, переход от  $m=1$  к  $m=2$  происходит быстро и глобальные параметры плазмы, определяющие режим удержания, не успевают измениться. Во-вторых, измеряемая частота — это частота следования пиков мимо зонда, то есть измеряемая частота, есть произведение частоты вращения плазмы на номер моды. Согласно выводам работы [9], частота вращения плазмы, определяемая приложенным на периферии потенциалом, обратно пропорциональна номеру моды  $f_m = f_l / m$ . Учтём также частоту вращения  $f_{амб}$ , появляющуюся в плазме «естественным» образом — за счёт амбиполярного потенциала, спадающего на периферии плазмы. Учитывая два этих слагаемых, получим:

$$f = m \cdot (f_m - f_{амб}) = f_l - m \cdot f_{амб} \quad (1)$$

Отметим, что без учёта амбиполярного вращения плазмы измеряемая частота не должна зависеть от номера моды. Используя (1) для перехода от  $m=1$  к  $m=2$ , можно вычислить характерные частоты:  $f_l \approx 60$  кГц и  $f_{амб} \approx 20$  кГц.

Продольные длины волн изучались с помощью линейной сборки зондов Мирнова и датчиков прошедших пучков. На рис.(4.1) 5 приведён сигнал с линейной сборки зондов того же эксперимента, что и сигнал с круговой сборки на рис.(4.1) 3. Сигналы всех зондов линейной сборки имеют одну фазу. Это означает, что длина волны превосходит размер линейной сборки, равный 1 м. И позволяет предположить, что колебания носят желобковый характер. Дополнительные измерения колебаний линейной плотности плазмы в центральном сечении и корреляционный анализ показал, что азимутальное положение желобка в центральном сечении (измерено детекторами прошедших пучков) и в точках остановки (измерено зондами Мирнова) совпадают с точностью до  $10^\circ$ . То есть продольная длина волны превышает длину установки. Это окончательно доказывает желобковую природу колебаний.

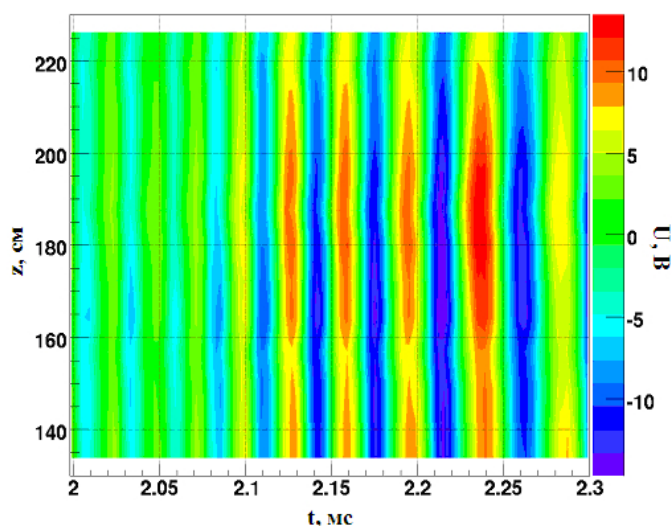


Рис.(4.1)5. Сигнал с зондов Мирнова в зависимости от продольной координаты  $z$  и времени.

По результатам данной серии экспериментов можно сделать два важных вывода:

1. Продемонстрировано, что в режиме с дифференциальным вращением движение столба плазмы в поперечном направлении имеет вихревой характер;
2. Возмущения равновесия плазмы при этом имеют характер желобков с азимутальным волновым числом  $m=1$ , либо  $m=2$ , что находится в соответствии с теоретической моделью [9].

### 4.1.3 Предельно достижимая температура электронов и баланс энергии

Параллельно с экспериментами по изучению движения плазмы при вихревом удержании была проведена оптимизация экспериментальных параметров с целью достижения максимальных значений электронной температуры, которая в условиях ГДЛ является одним из главных параметров, определяющих энергетическое время жизни горячих ионов. Кроме того были проведены измере-



ния, позволившие проанализировать баланс энергии при оптимизированных параметрах.

Наибольших значений температуры электронов удалось достичь в режиме с инъекцией 4,8 МВт дейтериевых пучков в дейтериевую плазму. На рисунке (4.1) 6 показана временная зависимость электронной температуры. Начало отсчета соответствует началу атомарной инъекции.

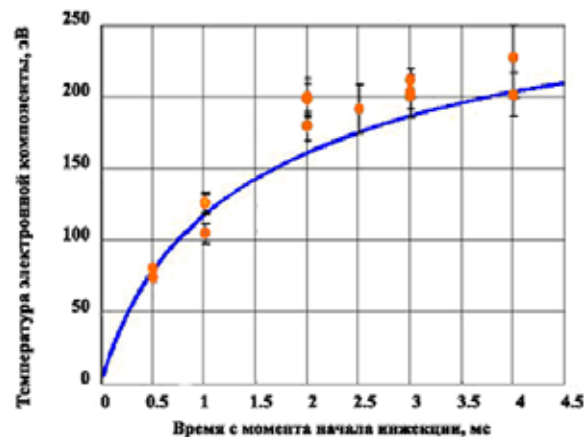


Рис.(4.1)6. Зависимость температуры электронов от времени в режиме с инъекцией 4.8 МВт D<sup>0</sup> пучков в D плазму: точки – результат измерений, линия – результат «0-мерного» моделирования с учетом продольных потерь в газодинамическом режиме.

Для сравнения приведены результаты численного моделирования процесса нагрева плазмы при атомарной инъекции с использованием модели бесстолкновительного течения максвелловской плазмы через пробки [5], которая адекватна условиям эксперимента на установке ГДЛ. Неплохое совпадение результатов такого моделирования с результатами измерений свидетельствует о малой величине мощности поперечных потерь тепла по сравнению с мощностью продольных потерь.

Численную оценку отношения мощности поперечных потерь к мощности продольных удалось получить благодаря специальной серии измерений, где использованы пироэлектрические болометры, позволившие измерить распределения плотности мощности на поверхности поглотителей плазмы. Эти измерения проведены в наиболее близком к стационарному режиму с инъекцией водородных пучков в водородную плазму. Мощность нагрева плазмы (захваченная мощность атомарных пучков за вычетом мощности потока нейтралов перезарядки из плазмы) составила  $1,4 \pm 0,05$  МВт, а измеренная мощность продольных потерь -  $1,3 \pm 0,2$  МВт. Таким образом, в этом режиме отношение мощности поперечных потерь энергии не превышает 20% от мощности продольных.

#### 4.1.4 Высокочастотные электромагнитные колебания

Анализ работ прежних лет показывает, что при сегодняшних параметрах плазмы в ГДЛ возможно развитие альфвеновской ионно-циклотронной неустойчивости. Основные параметры, определяющие «порог» развития данного типа микроустойчивости:

$$\beta = 8\pi n_f \langle \epsilon_f \rangle / B^2 \text{ – относительное давление;}$$

$$A \approx \pi / \theta \Delta \text{ – степень анизотропии,}$$

где  $n_f \langle \epsilon_f \rangle$  - плотность и средняя энергия горячих ионов,  $B$  – магнитное поле,  $\theta \Delta$  - характерная угловая ширина функции распределения горячих ионов. Приближенным критерием «порога» развития неустойчивости является неравенство  $A \cdot \beta > k$ , где  $k \approx 1 \div 10$ .

Для сегодняшних параметров ГДЛ:  $A \gg 1$ ,  $\beta \approx 0,5$ .

Для регистрации электромагнитных колебаний на частотах в области частоты ионно-циклотронного резонанса ( $\omega_{ci} = 2,7$  МГц) вблизи плазмы установлен магнитный зонд, способный измерять колебания трех компонент вектора магнитного поля:  $B_z$ ,  $B_r$ ,  $B_\phi$ . Характерными признаками альфвеновской волны, возникающей в плазме при развитии альфвеновской ионно-циклотронной неустойчивости являются следующие:

1. направление вращения вектора поляризации волны совпадает с направлением циклотронного вращения ионов;

2.  $B_z \ll B_r, B_\phi$  - амплитуда колебаний  $z$  компоненты магнитного поля много меньше соответствующих амплитуд  $r$  и  $\phi$  компонент.

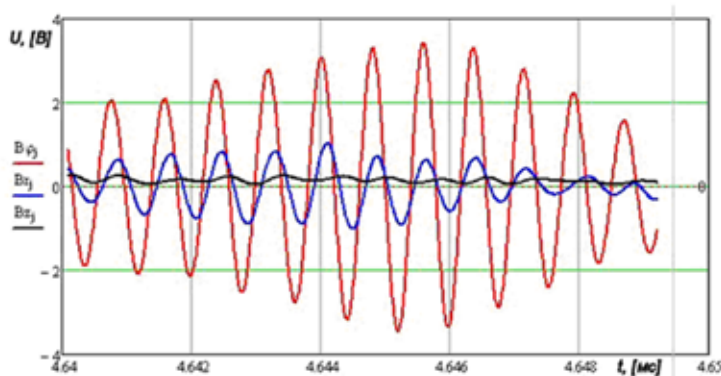


Рис.(4.1)7. Фрагмент осциллограммы колебаний трех компонент вектора магнитного поля: амплитуда  $z$ -компоненты мала по сравнению с амплитудами двух других компонент.

На рисунке (4.1)7 показан фрагмент осциллограммы колебаний трех компонент вектора магнитного поля, записанной в одном из экспериментальных «выстрелов». Видно, что амплитуда колебаний  $z$ -компоненты мала по сравнению с амплитудами двух других компонент. Корреляционный анализ колебаний показал, что направление вращения вектора поляризации волны совпадает с направлением циклотронного вращения ионов. Таким образом, можно сделать вывод, что с высокой долей вероятности мы имеем дело именно с альфвеновской ионно-циклотронной неустойчивостью.

Анализ результатов дополнительных измерений при помощи системы катушек Мирнова и анализатора энергий ионов, покинувших ловушку через пробки, позволил сделать следующие выводы:

1. При развитии неустойчивости наблюдается увеличение ширины пика плотности горячих ионов в области остановки (уменьшается степень анизотропии).
2. При развитии неустойчивости наблюдается насыщение амплитуды колебаний, а потери частиц и энергии через пробки увеличиваются незначительно.

Согласно результатам измерений средняя энергия ионов, покидающих ловушку, составляет:

$$\langle E \rangle = (1,00 \pm 0,03) \text{ кэВ} - \text{ без неустойчивости;}$$

$\langle E \rangle = (1,10 \pm 0,03) \text{ кэВ}$  – при тех же параметрах плазмы в ловушке в условиях развитой неустойчивости.

Таким образом, показано, что ГДЛ является хорошим инструментом для дальнейших исследований ряда исключительно важных проблем, связанных с микроустойчивостями:

1. уточнение теоретических моделей, описывающих «пороги» развития микроустойчивостей, процессы насыщения (уровень точности предсказаний теории сегодня не представляется удовлетворительным);
2. изучение влияния микроустойчивостей на равновесие и удержание плазмы.

## 4.2 Теория плазмы

### 4.2.1 Равновесие и устойчивость плазмы

В параксиальном приближении показано, что в анизотропной плазме, удерживаемой в открытых линейных системах с  $\beta$  выше порога неустойчивости вблизи точки поворота плещущихся ионов формируется «магнитная дыра».

### 4.2.2 Динамическое удержание плазмы

В 2010 году продолжено теоретическое исследование динамического удержания плазмы вблизи неустойчивого осесимметричного равновесия в открытых ловушках. Установлено качественное согласие теоретических скейлингов вихревого удержания с экспериментами на ГДЛ. Предложен новый метод удержания с обратными связями, основанный на изгибании плазменного шнура при магнитном воздействии. В отличие от вихревого удержания он может применяться и при слабой проводимости плазмы на торцевые пластины.

### 4.2.3 Терагерцовое излучение

Построена феноменологическая теория процессов в лазерной искре в атмосфере, приводящих к электромагнитному излучению в диапазоне 1-20 ТГц. Методом мнимого времени вычислена вероятность многофотонной и туннельной ионизации в бихроматическом поле.

### 4.2.4 Заряженная плазма

Создана теория равновесия заряженной плазмы при наличии разнообразных возмущений магнитного и электростатического полей.

### 4.2.5 Теория образования пыли в плазме

Разделение пылевых частиц по размерам в термоядерных установках близко к степенному. Показано, что такое распределение может появиться в результате хрупкого разрушения. Из предположения подобия следует, что показатель степени в таком распределении лежит между -4 и -1. Модель разрушения имеет много общего с теорией фракталов. Показатель степени можно связать с фрактальной размерностью. Из дополнительных предложений о структуре фрагментации следует, что показатель степени близок к -3. Для модели со вписыванием шаров максимального размера показатель степени равен -3,4.

### 4.2.6 Теория плазменного кильватерного ускорения

Продолжено теоретическое исследование плазменного кильватерного ускорения с протонными пучками как возможного пути к достижению энергий ТэВ-ного диапазона в одиночной плазменной секции. Рассмотрен ряд факторов, влияющих на характеристики такого ускорения: внешняя квадрупольная фокусировка, оптимальный выбор профиля плотности плазмы и долговременная динамика пучка. Найдены оптимальные условия для ускорения и проанализированы возможные следствия отклонения от оптимума.

Разработана модель самомодулирующей неустойчивости длинного релятивистского протонного пучка в однородной плазме. Протонный пучок, самомодулировавшийся в результате развития неустойчивости, возбуждает кильватерную волну большой амплитуды, которую можно использовать для ускорения электронов плазмы. Показано, что самомодулирующая неустойчивость развивается одновременно с шланговой неустойчивостью пучка, которая стремится разрушить кильватерную волну. Предложен и изучен численно метод устранения этой проблемы, основанный на внешнем инициировании самомодулирующей неустойчивости.

Для проверки новаторской идеи плазменного кильватерного ускорения с протонными пучками планируется проведение демонстрационных экспериментов. Идея состоит в том, чтобы имеющиеся протонные пучки высокой энергии от протонных синхотронов PS или SPS в ЦЕРНе запустить в плазменную секцию и возбудить в ней кильватерную волну. Длинные протонные пучки должны промодулироваться в результате развития неустойчивости. Взаимодействие протонных пучков и плазмы было промоделировано в рамках развития этого совместного проекта. Похожий эффект самомодуляции электронного пучка может быть экспериментально проведен на установке,

создаваемой в настоящее время в ИЯФ СО РАН.

Также были опубликованы работы по исследованию резонансного возбуждения кильватерных полей в плазме длинными последовательностями коротких электронных сгустков.

#### **4.2.7 Моделирование турбулентного нагрева плазмы мощным электронным пучком**

В работе проведено численное моделирование основных физических явлений, определяющих скорость и эффективность турбулентного нагрева плазмы мощными электронными пучками. С этой целью разработаны одномерная гибридная и двумерная PIC модели, способные с различным уровнем детализации воспроизводить турбулентные процессы в плазме. Установлен последовательный сценарий нелинейной эволюции пучково-плазменной системы в условиях длительной инжекции пучка. Показано, что с ростом температуры плазмы возбуждаемая пучком турбулентность переходит в режим с постоянной мощностью накачки, уровень насыщения которой не зависит от природы турбулентных процессов в плазме и определяется исключительно нелинейным взаимодействием пучка с резонансными колебаниями.

С помощью гибридной численной модели исследована эффективность турбулентного нагрева плазмы низкоэнергетическими электронными пучками, которые планируется использовать в будущих экспериментах на установке ГОЛ-3. Показано, что при равной инжектируемой мощности более эффективно использовать пучки с более низкой энергией частиц. Показано также, что регулярные неоднородности плазмы приводят к смещению максимума энерговыделения в локально однородную область.

### **4.3 Инжекторы пучков быстрых атомов и ионов**

#### **4.3.1 Инжекторы пучков быстрых атомов**

Для нагрева плазмы в установке FRC (компания Tri Alpha Energy, США) были запущены и выведены на расчетные параметры два мощных по 0,7 МВт нагревных инжектора с энергией атомов водорода 20 кэВ, длительностью 5 мс. Ионные источники изготовлены на базе мощных дуговых генераторов плазмы с током разряда до 1,2 кА.

Также в компании ТАЕ была успешно завершена модернизация четырех ранее поставленных инжекционных систем на новые необходимые заказчику параметры: энергия быстрых нейтралов водорода 20 кэВ, ионный ток в системе вытягивания 45 А, длительность до 100 мс. Была полностью перепроектирована и заменена система электродов, формирующих пучок. ВЧ-разрядные эмиттеры плазмы остались без изменений от предыдущей версии.

По контракту с компанией EMC2 (Energy Matter Conversion Corporation, Сан-Диего, США), был поставлен инжектор для нагрева плазмы. Энергия дейтериевого пучка - 25 кэВ, ионный ток в системе вытягивания – 30 А, длительность 3 мс. Ионный источник сделан на базе дугового генератора, и по конструкции он близок к двум нагревным инжекторам для компании ТАЕ, о которых говорилось выше.

#### **4.3.2 Разработка мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода**

Ведутся работы по проекту мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода с энергией атомов 500 - 1000 кэВ на основе отрицательных ионов. Проект основан на раздельном формировании и ускорении пучка отрицательных ионов. Выполняется детальное конструирование основных элементов инжектора. Прорисован вариант размещения инжектора в защищенном зале корпуса ДОЛ. Начата подготовка экспериментального стенда для ускорения пучка отрицательных ионов водорода с током ~5 А до энергии 120 кэВ. Готовятся рабочие чертежи прототипа источника отрицательных ионов водорода.



## 4.4 Установка ГОЛ-3

### 4.4.1 Введение

Установка ГОЛ-3 является уникальным инженерно-физическим комплексом, предназначенным для изучения физики быстрого коллективного нагрева плазмы при помощи сильноточного релятивистского электронного пучка микросекундной длительности и физики многопробочного удержания высокотемпературной плазмы в многопробочной открытой ловушке. Особенностью физики процессов, определяющих поведение плазмы в ловушке, является определяющая роль коллективных и нелинейных эффектов. Научная программа 2010 года была направлена на решение нескольких конкретных задач, направленных на развитие физики и технологии систем многопробочного удержания высокотемпературной плазмы. Параллельно с экспериментами по научным программам, в 2010 году продолжалось развитие экспериментальной базы. Продолжалось развитие схемы генерации длинноимпульсных электронных пучков с плазменным эмиттером. Диагностический комплекс установки расширился за счёт создания новых методик, о которых будет сказано ниже.

Внешний вид установки представлен на рис (4.4)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.



Рис. (4.4)1. Фотография установки ГОЛ-3.

Типичный сценарий эксперимента выглядит следующим образом. При помощи нескольких импульсных клапанов в металлической вакуумной камере  $\varnothing$  10 см, расположенной внутри соленоида, создаётся требуемое распределение плотности водорода или дейтерия по длине. Далее с помощью специального продольного разряда создается исходная плазма со средней по длине

плотностью, которая может варьироваться в диапазоне  $(1\div 30)\cdot 10^{20}$  м<sup>-3</sup> и температурой  $\sim 2$  эВ. Затем в плазму инжектируется релятивистский электронный пучок со следующими параметрами: энергия электронов  $\sim 0,8$  МэВ, ток  $\sim 25$  кА, длительность по основанию  $\sim 12$  мкс, энергосодержание  $\sim 120$  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 ускорителя У-2, а затем сжимается и преобразуется в пучок круглого сечения магнитной системой ускорителя. В результате коллективного нагрева плазма приобретает ионную температуру масштаба  $2\div 3$  кэВ (в наиболее горячей части плазменного столба). Использование многопробочной схемы удержания (гофрированного магнитного поля) позволяет удерживать горячую плазму гораздо дольше, чем в простой соленоидальной ловушке.

#### 4.4.2 Эксперименты по инъекции пучка с плавно нарастающей мощностью

В экспериментальную кампанию 2010 года на установке был впервые опробован новый режим формирования релятивистского электронного пучка. Суть работы заключалась в том, что срабатывание разрядников генератора импульсных напряжений ускорителя У-2 было перепрограммировано так, чтобы обеспечить плавный рост напряжения на диоде от 0,15 до 0,7 МВ в течение приблизительно 8 мкс (в отличие от ранее применявшегося режима, в котором стартовое напряжение имело величину  $\sim 0,5$  МВ). При этом ток пучка и его мощность также имели затянутый фронт - см. рис. (4.4) 2. Полная длительность и энергосодержание пучка остались практически без изменений по сравнению со стандартным режимом.

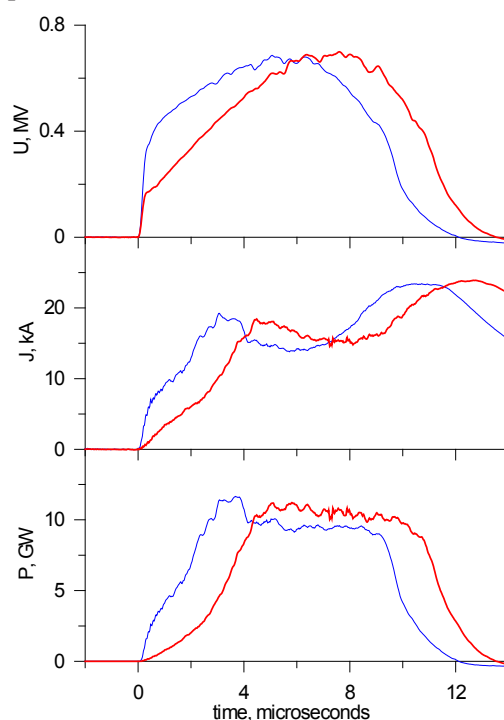


Рис.(4.4)2. Основные параметры электронного пучка для двух случаев: стандартный режим (тонкие линии) и режим с плавным увеличением напряжения на катоде (толстые линии). Показаны типичные осциллограммы напряжения на диоде (вверху), тока пучка (в центре) и мощности пучка (внизу).

С точки зрения термоядерных перспектив схемы нагрева плазмы электронным пучком в открытых ловушках представляет интерес проверка пучково-плазменного взаимодействия при пониженной мощности пучка, что при фиксированной плотности плазмы соответствует уменьшению отношения концентрации электронов пучка к концентрации плазмы. Физический интерес к этому режиму связан с тем, что процесс взаимодействия сильноточного релятивистского пучка с плазмой является нелинейным. При этом электронный пучок должен сохранить две важные функции: обеспечивать коллективный нагрев электронов плазмы и поддерживать достаточно высокий уровень ленгмюровской турбулентности, при котором уменьшаются продольные потери тепла вдоль магнитного поля.



В экспериментах было продемонстрировано, что рост энергосодержания плазмы происходит практически линейно во время инъекции электронного пучка даже несмотря на то, что в первой половине импульса мощность пучка была существенно пониженной по сравнению со стандартным режимом (см. рис. (4.4)3). Результирующая величина нагрева плазмы близка к получаемой в стандартном режиме. Этот результат является позитивным с точки зрения перспектив планируемого перехода к работе с длинноимпульсным электронным пучком пониженной мощности.

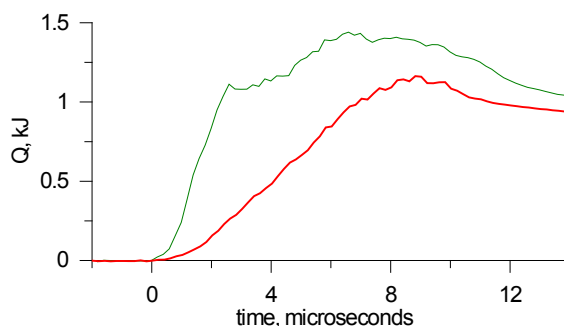


Рис. (4.4)3. Динамика полного энергосодержания плазмы по диамагнитным измерениям. Стандартный режим работы показан тонкой линией, режим с плавным увеличением энергии электронов – толстой.

#### 4.4.3 Измерение функции распределения электронов

В 2010 году было проведено усовершенствование системы томсоновского рассеяния, используемой для измерения функции распределения плазменных электронов. Характерной чертой установки ГОЛ-3, отличающей её от других плазменных систем с магнитным удержанием, является сильная неравновесность электронной функции распределения по скоростям, что связано с турбулентным механизмом нагрева электронов и с его большой мощностью. Другой особенностью плазмы в установке является существенная зависимость плотности и энергии плазменных электронов от расстояния вдоль оси установки в дополнение к обычному изменению этих параметров в направлении, перпендикулярном магнитному полю и оси магнитной ловушки. Аксиальной зависимостью параметров плазмы открытые ловушки в целом отличаются, например, от токамаков, где параметры плазмы меняются практически только в направлении, перпендикулярном магнитному полю. Кроме того, на установке ГОЛ-3 плазма нагревается намного быстрее, чем на большинстве других современных плазменных установок с магнитным удержанием и это делает необходимым использование диагностической аппаратуры с существенно более высоким временным разрешением. Усовершенствование системы томсоновского рассеяния проводилось с целью исследований динамики и аксиальной зависимости нагрева плазменных электронов и из-за отмеченных выше особенностей плазмы потребовало подходов, отличных от подходов, обычно применяющихся в подобных случаях на тороидальных установках. В частности, для проведения измерений в ещё одном сечении ловушки (на расстоянии 2 м от входной магнитной пробки) пришлось вторично провести лазерный пучок через плазму, как это показано на рис. (4.4)4. Здесь исходный лазерный пучок показан стрелкой. С целью детального исследования динамики высокоэнергичных, но относительно менее плотных «хвостов» электронной функции распределения понадобилось использовать два импульса лазерного излучения с регулируемой задержкой 0,1–100 мкс между ними и с энергией каждого импульса, в несколько раз превышающей стандартную энергию для установок с равновесной плазмой. Схема новой системы томсоновского рассеяния приведена на рисунке, где на врезке показана схема задающего модуля, состоящего теперь из двух независимых генераторов. Последующие усилители увеличивают энергию каждого импульса излучения в  $10^3$  раз. Сам процесс усиления существенно нелинеен, но изменением параметров работы усилителей и генераторов можно добиться примерно одинаковых по энергии импульсов выходного излучения при разных временных задержках между импульсами.

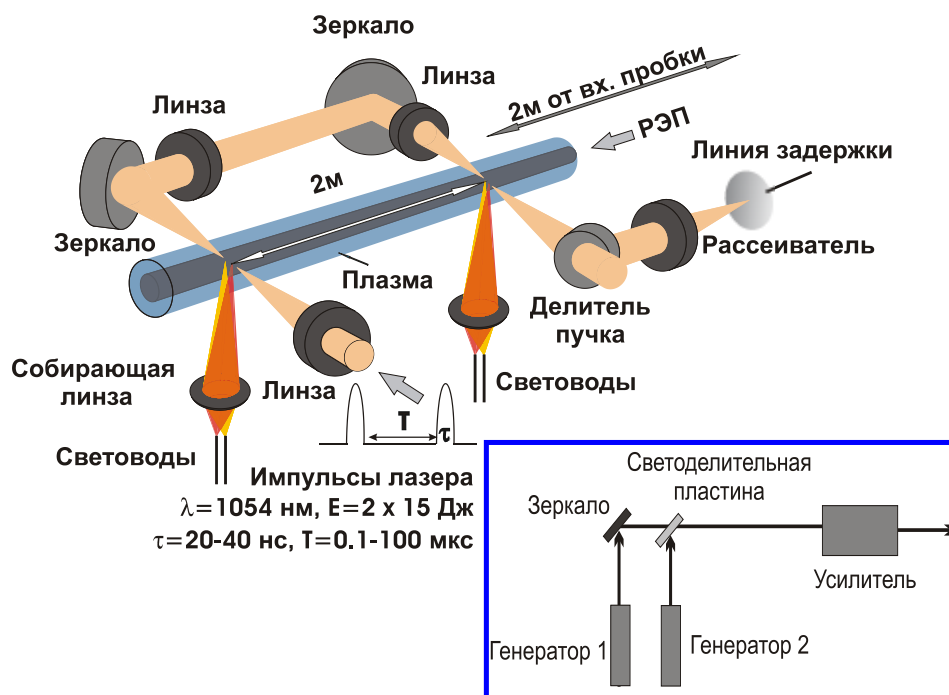


Рис. (4.4)4. Схема усовершенствованной системы томсоновского рассеяния для измерений в двух аксиальных сечениях плазмы и в два момента времени

Пример использования новой системы томсоновского рассеяния для измерения аксиальной динамики нагрева плазменных электронов можно видеть на рис. (4.4)5, где приведены плотности и средние энергии электронов, измеренные в два момента времени 5,5 и 8 мкс в течение нагрева плазмы релятивистским электронным пучком. На рисунке приведены данные, измеренные в нескольких циклах работы установки. Из общей картины видно, что исходно более плотная плазма на  $Z = 2$  м растекается вдоль установки, и через 2,5 мкс плотность в этом сечении существенно уменьшается, но несколько увеличивается в сечении  $Z = 4$  м. При этом средняя энергии плазменных электронов возрастает во время нагрева в обоих сечениях. Из общей картины рис. (4.4)5 можно также заметить больший разброс средних энергий в более поздний момент времени (8 мкс). Более детальное рассмотрение изменений средней энергии в течение одного цикла (импульса) работы установки показывает, что средняя энергии может иногда уменьшаться при  $t = 8$  мкс по отношению к более раннему моменту времени. Такая картина, в принципе, согласуется с имеющейся моделью коллективного механизма передачи энергии от электронной к ионной компоненте плазмы. Этот механизм начинает эффективно действовать как раз в районе 7-9 мкс фазы нагрева плазмы.

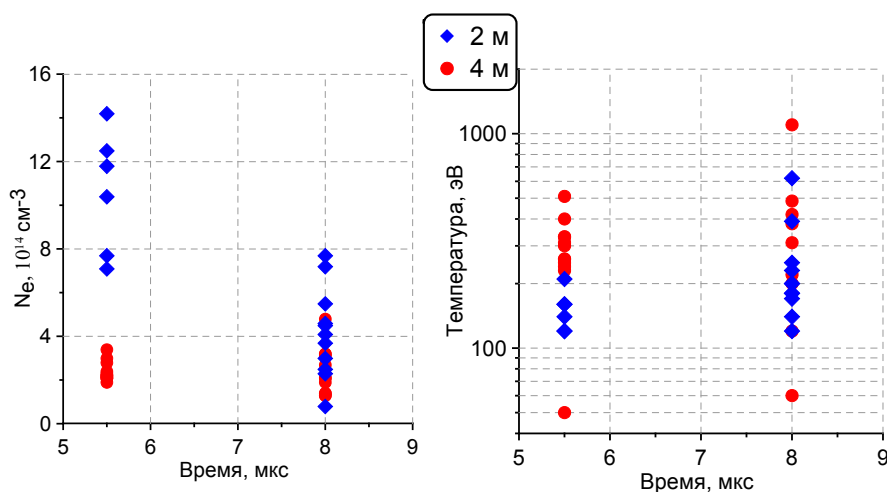


Рис. (4.4)5. Динамика изменения плотности и средней энергии электронов плазмы в течение фазы нагрева на расстояниях 2 м (ромбы) и 4 м (кружки) от места инъекции нагревающего релятивистского электронного пучка в плазму. Приведены данные, полученные во время нескольких рабочих циклов.

#### 4.4.4 Изучение субтерагерцового излучения плазмы

В условиях турбулентного нагрева плазмы мощным релятивистским электронным пучком возникает возможность протекания процесса нелинейного слияния двух ленгмюровских волн в электромагнитную волну. При этом частота электромагнитной волны приблизительно соответствует двойной плазменной частоте. Таким образом, изучая структуру и динамику спектра эмиссии излучения из плазмы, можно получать информацию о взаимодействии между пучком и плазмой, а также о процессах, сопровождающих релаксацию электронного пучка в плазме. Для плотностей плазмы в диапазоне  $10^{20} \div 10^{21} \text{ м}^{-3}$  удвоенная линейная плазменная частота приходится на диапазон  $180 \div 565 \text{ ГГц}$ .

Для регистрации мощности и спектра излучения в окрестности двойной плазменной частоты в 2008 году была разработана четырёхканальная радиометрическая диагностика, основанная на квазиоптических элементах, в которой селективное разделение по частоте осуществляется с использованием квазиоптических анизотропных сеточных фильтров.

В 2010 году продолжалось экспериментальное исследование излучения из плазмы, генерируемого по описанному механизму. Особое внимание уделялось особенностям временной структуры излучения. Один из возможных механизмов генерации связан с появлением в плазме локализованных областей с повышенной плотностью ленгмюровских колебаний, которые и являются источниками излучения. Тогда сигнал должен состоять из большого количества коротких по времени пиков. Подобная структура сигнала и наблюдается в эксперименте (см. рис. (4.4) б).

Из приведённых сигналов видно, что регистрируемое электромагнитное излучение присутствует только на стадии интенсивного нагрева плазмы. При этом инжекция электронного пучка в плазму ещё продолжается, а энергосодержание плазмы близко к максимуму. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что генерация регистрируемого электромагнитного излучения не связана непосредственно с циклотронным движением электронов, а является плазменным процессом.

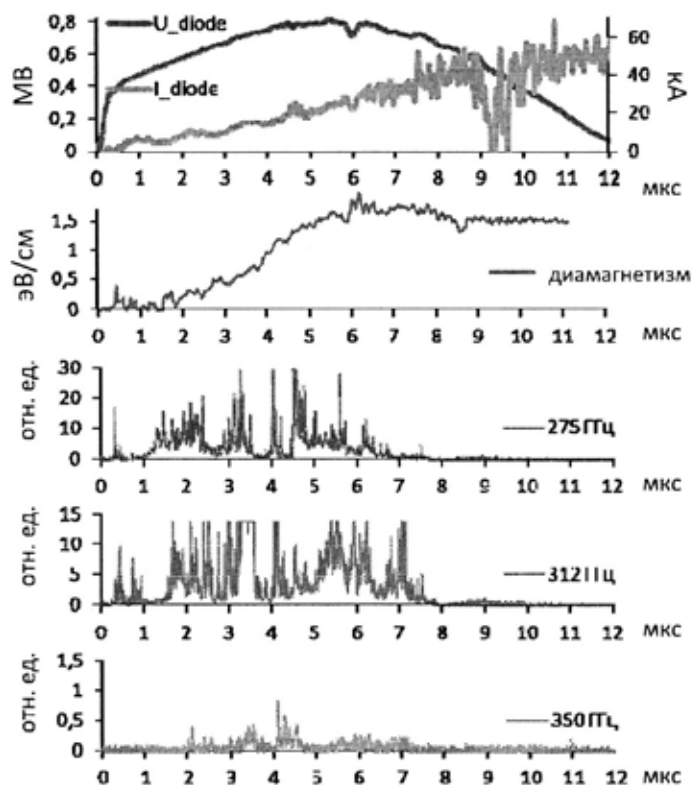


Рис. (4.4)б. Типичные сигналы, характеризующие стадию коллективного нагрева плазмы релятивистским электронным пучком на установке ГОЛ-3. Сверху вниз: напряжение на катоде генератора пучка и ток пучка; диамагнитное давление плазмы на координате 77 см; сигналы детекторов микроволнового излучения, расположенных на координате 83 см. Для каждого детектора обозначен центр полосы пропускания спектральной системы.

#### 4.4.5 Результаты магнитной диагностики плазмы

Магнитная активность плазмы наблюдается не только на стадии нагрева, но и спустя большое время после прекращения инжекции электронного пучка в плазму. В это время, на стадии остывания плазмы, возникнут единичные короткоживущие возмущения. Возмущение представляет собой короткий (несколько периодов колебаний, в отдельных случаях — один всплеск) волновой пакет с основной частотой порядка  $10^5$ – $10^6$  Гц. Интеграл амплитуды магнитного поля по всему времени импульса с приборной точностью равен нулю, то есть данное явление не приводит к генерации полного тока по шнуру, а является следствием возникновения либо исчезновения встречных аксиально-несимметричных струй тока в плазме. В отдельных экспериментах локальными детекторами нейтронного и гамма-излучения наблюдались вспышки, хорошо скоррелированные по времени с импульсами магнитной активности плазмы (рис. (4.4) 7). Всего было изучено более 9000 событий, наблюдавшихся в 1200 выстрелах.

Анализ частотного спектра магнитных возмущений показал, что статистически наблюдаются три группы событий с основной частотой вблизи значений 0,38, 0,86 и 1,4 МГц. Наименьшая частота соответствует удвоенному времени пробега альфвеновской волны через всю длину установки. Обнаружено, что возмущение начинается на одном из торцов и распространяется вдоль магнитного поля с локальной альфвеновской скоростью (рис. (4.4) 8); затухание происходит за время, соответствующее затуханию коротковолнового (сравнимого с длиной отдельного пробкотрона) несобственного магнитного возмущения.

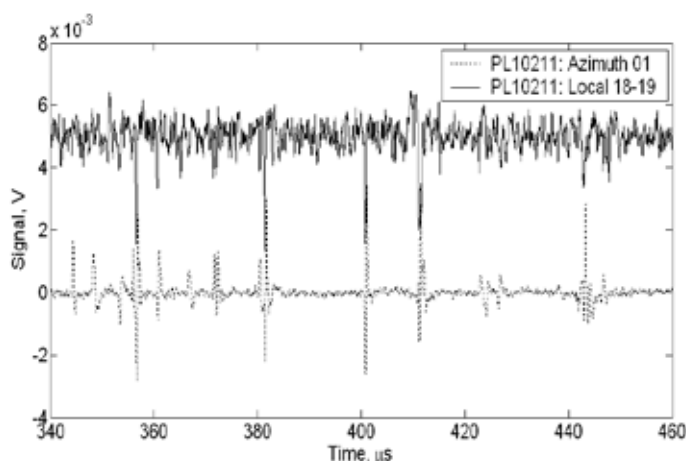


Рис. (4.4)7. Корреляция импульсной магнитной активности плазмы и нейтронной/гамма-эмиссии из установки, вверху: сигнал локального детектора излучения, внизу: сигнал азимутального магнитного зонда.

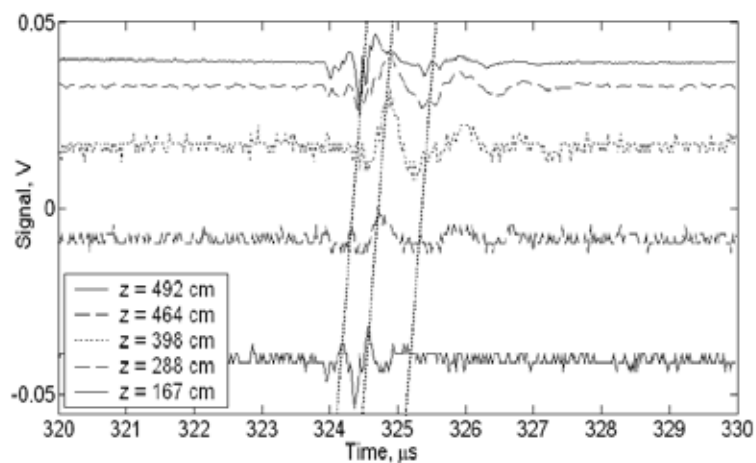


Рис. (4.4)8. Продольная корреляция возмущений. Нулевые линии сигналов для наглядности смещены пропорционально координатам датчиков, вверху расположены сигналы каналов, наиболее удаленных от начала установки.

Итоговая интерпретация подобных возмущений выглядит следующим образом. Во время стадии турбулентного нагрева в плазме формируется сложная знакопеременная радиальная структура продольных токов. После окончания инъекции пучка существующая структура токов исчезает не мгновенно. На стадии остывания плазмы, по всей видимости, происходит филаментация токов на струйки амплитудой до 50 А (оценка сделана по наблюдаемой амплитуде сигналов магнитного датчика, амплитудное распределение носит степенной характер с показателем  $-1,87$ ). Наблюдаемый сигнал может быть связан с аннигиляцией подобных струек, при этом длительность процесса перезамыкания соответствует предсказаниям теории.

#### 4.4.6 Эксперименты по исследованию стойкости вольфрама к облучению мощным потоком плазмы

На установке ГОЛ-3 проведены эксперименты по воздействию мощных плазменных потоков на вольфрамовые материалы при энергетических нагрузках, ожидаемых в диверторе термоядерного реактора токамака. Эксперименты проводились в выходном узле установки, где благодаря наличию расширяющегося магнитного поля можно в широких пределах изменять плотность потока энергии на мишени. Проведены эксперименты с нагрузкой  $0,3 \div 12$  МДж/м<sup>2</sup>.

Исследования поверхности вольфрама после облучения показали следующее.

При нагрузке меньше порога плавления поверхности (менее  $0,5$  МДж/м<sup>2</sup>) поверхность почти не меняется, изменяется шероховатость. При небольшом увеличении нагрузки – происходит переплавление поверхности, появляются кратеры диаметром 50-300 мкм, а также сеть трещин размером 0,3 микрон в виде гранул.

При средних нагрузках (5 выстрелов по  $2$  МДж/м<sup>2</sup>, что соответствует средней нагрузке от ELM type I в диверторе ИТЭР) формируются сети трещин размерами порядка 1000 мкм, кратеры  $\varnothing$  200 мкм, ячейки 10 мкм и гранулы 0,3 мкм. На рис. (4.4) 9 показана фотография кратера на поверхности вольфрама, полученная с помощью растрового электронного микроскопа Jeol JCM-5700. Использование стереопары РЭМ изображений позволило с помощью пакета MeX провести восстановление трехмерной формы поверхности и определить глубину кратера, которая составила 22 микрона, профиль высоты кратера показан на рис. (4.4) 10. РЭМ снимок с большим увеличением, показанный на рис. (4.4) 11, демонстрирует образовавшуюся сеть самых мелких гранул размером 0,3 мкм.

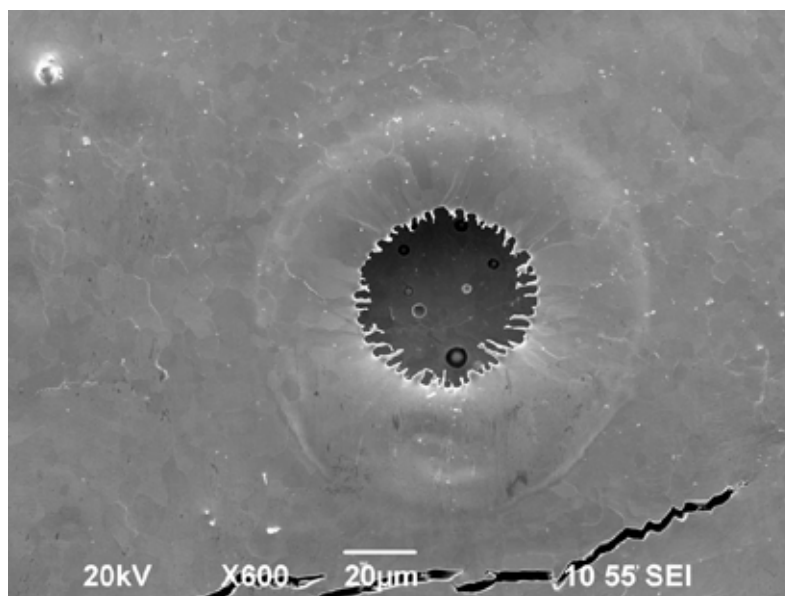


Рис. (4.4)9. Даже при средних нагрузках в падающем плазменном потоке (5 выстрелов ГОЛ-3 по  $2$  МДж/м<sup>2</sup>) вольфрам под поверхностью вскипает и на вольфрамовой мишени формируются глубокие кратеры и трещины.



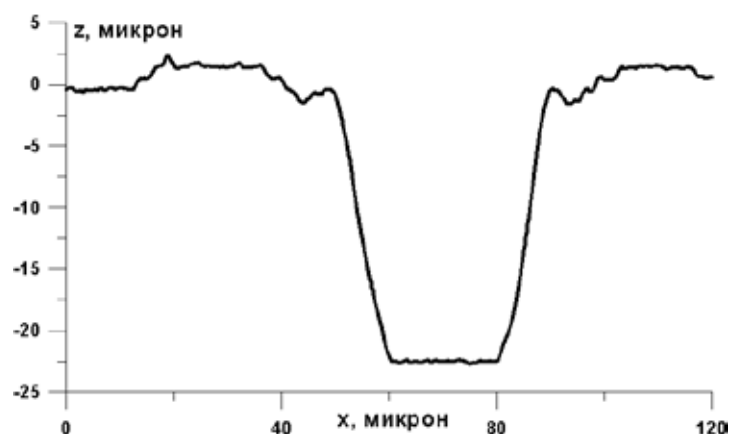


Рис. (4.4)10. Горизонтальная (относительно рис. (4.4)9) профилограмма поверхности вольфрама, проведенная через центр кратера. Профилограмма получена из стереопары РЭМ снимков пакетом MeX.

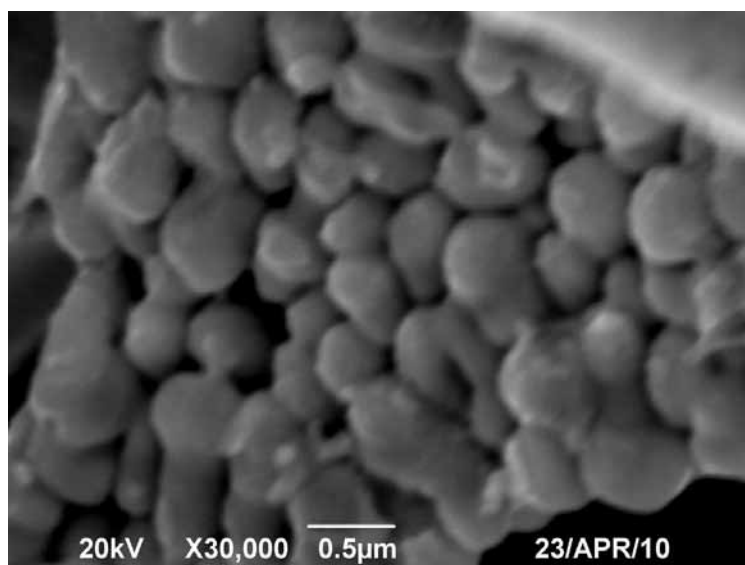


Рис. (4.4)11. Сеть гранул размером 0,3 мкм на поверхности вольфрама после облучения.

Показано, что при пиковой нагрузке соответствующей максимальным ELM type I в диверторе ИТЭР (которых ожидается  $10^3$  за разряд) эрозия вольфрама будет неприемлемо большой – всего после 9 выстрелов ГОЛ-3 по  $4 \text{ МДж/м}^2$  эрозия поверхности составила сотни микрон. На поверхности вольфрама образуются волнообразная поверхность с перепадом высот в сотни микрон, при этом сеть ячеек 10 мкм остается, сеть ячеек 0,3 микрон исчезает. РЭМ снимок поверхности показан на рис. (4.4) 12. Высота круглого объекта в правом нижнем углу снимка составила 280 мкм. Высота верхнего на снимке «наплыва» порядка 100 мкм, на рис. (4.4) 13 показан 3D вид похожего объекта.

При нагрузке в плазменном потоке  $12 \text{ МДж/м}^2$  эрозия вольфрама за один выстрел составила свыше 150 мкм.

Также проведены сравнительные испытания вольфрама различных марок при их одновременном облучении мощным потоком плазмы. Показано, что разные марки вольфрама демонстрируют разную стойкость к облучению плазмой.

Результаты проведенных исследований показывают более жесткие, чем считалось ранее, ограничения на пиковую нагрузку при облучении вольфрама мощными потоками плазмы.



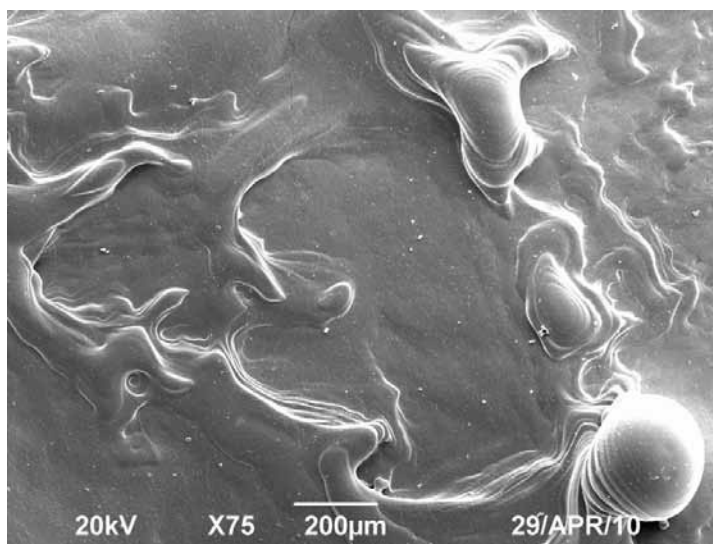


Рис. (4.4)12. Микрофотография поверхности вольфрама после всего 9 выстрелов на ГОЛ-3 по 4 МДж/м<sup>2</sup>, что соответствуют пиковой нагрузке при ELM type I в диверторе ИТЭР, которых ожидается 10<sup>3</sup> за разряд.

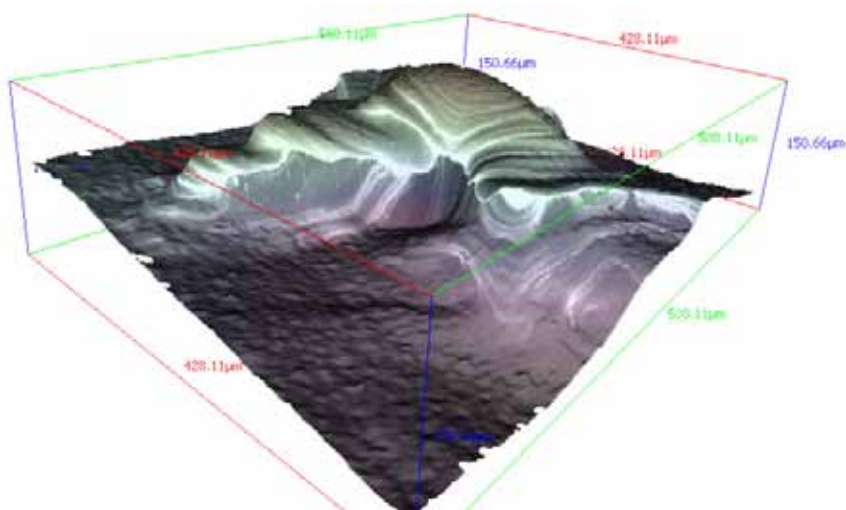


Рис. (4.4)13. 3D вид поверхности вольфрама после 9 выстрелов на ГОЛ-3 по 4 МДж/м<sup>2</sup>. Характерный перепад высот более сотни микрон.

#### 4.4.7 Развитие диагностического комплекса

Качество получаемой физической информации определяется возможностями диагностического комплекса установки. Как и в предшествующие периоды, в 2010 году в эту часть установки ГОЛ-3 вкладывались значительные усилия.

С помощью изображающего спектрометра ВУФ излучения на установке ГОЛ-3 исследована макроскопическая стабильность плазменного шнура и величина поперечного переноса в режимах с инъекцией пучка уменьшенного диаметра. Сравнение результатов измерений пространственной структуры излучения спектральных линий ионов примесей в ВУФ диапазоне с численными расчетами динамики ионизационного баланса позволило дать оценку сверху на коэффициент поперечной диффузии плазмы в указанных режимах - 2 м<sup>2</sup>/с. Подтвержденное этими экспериментами низкое значение поперечного коэффициента диффузии указывает на то, что поперечные потери не являются существенными даже при уменьшении диаметра плазменного столба до масштабов ~1 см.

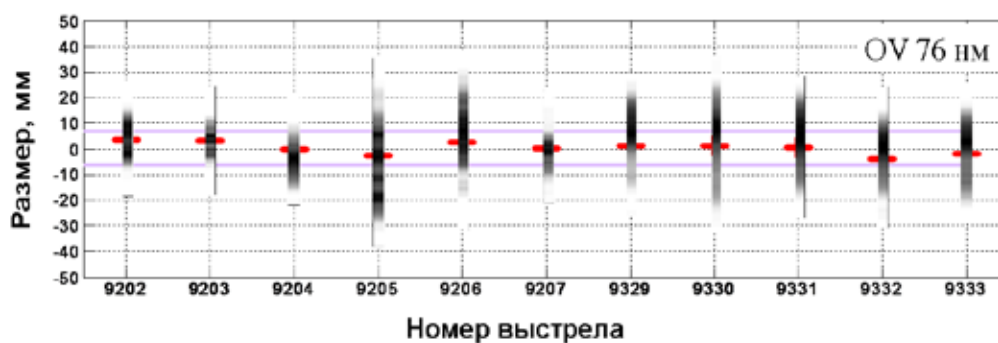


Рис. (4.4)14. Размеры и положение излучающей области плазмы в ряде выстрелов в режиме инъекции пучка в нейтральный газ. Серым цветом показан размер электронного пучка, градиент цвета определяет интенсивность свечения. Короткие черточки указывают на центр пучка. Расчетный размер пучка обозначен сплошными линиями на  $\pm 7$  мм.

В работу установки ГОЛ-3 была введена камера скоростной съемки ВИДЕОСПРИНТ, разработанная научно-производственной компанией ВИДЕОСКАН, которая предназначена для ввода монохромных изображений скоростных процессов в видимом диапазоне. Максимальная частота съемки составляет 250000 кадров в секунду при разрешении  $1280 \times 2$ , максимальное разрешение  $1280 \times 1024$ . На установке ГОЛ-3 камера используется для изучения быстропротекающих процессов по рождению, нагреву и остыванию плазмы. Организован внешний запуск камеры и дистанционное управление ею. В сентябре 2010 года с помощью этой диагностики были получены первые результаты, и в данное время камера работает при каждом выстреле.

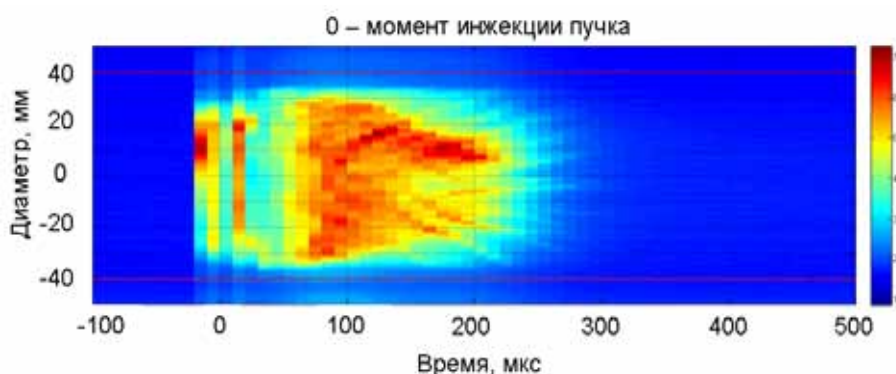


Рис. (4.4)15. Динамика профиля свечения плазмы (щелевая развёртка).

Важным инфраструктурным улучшением стал переход к принципиально новой системе синхронизации. Ранее для этой цели использовались модули ГВИ-8М, соединённые по сложной древовидной схеме. На их замену группой А. Д. Хильченко была разработана и изготовлена многоканальная автономная 32-разрядная система синхронизации «Пульс», которая имеет связь с управляющим компьютером по сети 100BaseTX. Система «Пульс» имеет до 48 выходных каналов в 19” корзине МЭК 60297 высоты 3U и может комплектоваться оконечными формирователями, имеющими либо электрический выход (совместимый по параметрам и разъёмам с импульсами ГВИ-8М), либо оптический выход. Всего изготовлено 6 корзин разной комплектации для управления установкой в целом и её крупными подсистемами.

#### 4.4.8 Получение мощных электронных пучков большой длительности в источнике с плазменным эмиттером

В 2010 году была проведена первая серия экспериментов по получению интенсивных электронных пучков субмиллисекундного уровня длительности в инжекторе с дуговым плазменным эмиттером, смонтированном в оконечном баке — расширителе плазмы установки ГОЛ-3. Целью первых экспериментов являлась проверка работоспособности и отладка систем питания и управ-

ления инжектора, а также генерация пучка в диапазоне ускоряющих напряжений  $40 \div 120$  кВ при токе эмиссии до 100 А и длительности пучка  $0,1 \div 0,5$  мс. Эмиссионная плазма генерировалась импульсным дуговым разрядом с холодным катодом и полым анодом (экспандером плазмы). Рабочим газом служил водород. Питание узла плазменного эмиттера осуществлялось от автономной системы, находившейся под полным ускоряющим потенциалом. Импульс ускоряющего напряжения квазипрямоугольной формы получался с помощью двух управляемых многоазорных воздушных разрядников путем частичного разряда высоковольтной конденсаторной батареи. Пучок экстрагировался из плазмы и ускорялся в ЭОС диодного типа с 36 круглыми эмиссионными апертурами диаметром 4 мм, расположенными в виде гексагональной «решетки». Далее пучок транспортировался в металлической трубе дрейфа при давлении остаточного газа  $\sim 1 \cdot 10^{-4}$  Торр на расстояние приблизительно 0,5 м и поглощался в торцевой заглушке-коллекторе. В экспериментах была получена средняя мощность пучка около 4 МВт при запасенной в пучке энергии до 600 Дж. Эксперименты проводились при отсутствии внешнего магнитного поля. Максимально достигнутые (не одновременно) в первой серии экспериментов параметры пучка составили: 110 кэВ, 70 А, 0,5 мс. Типичные осциллограммы напряжения и тока эмиссии показаны на рис. (4.4) 16. Таким образом, первые эксперименты продемонстрировали работоспособность выбранной конструкции источника и перспективу дальнейшего повышения параметров пучка.

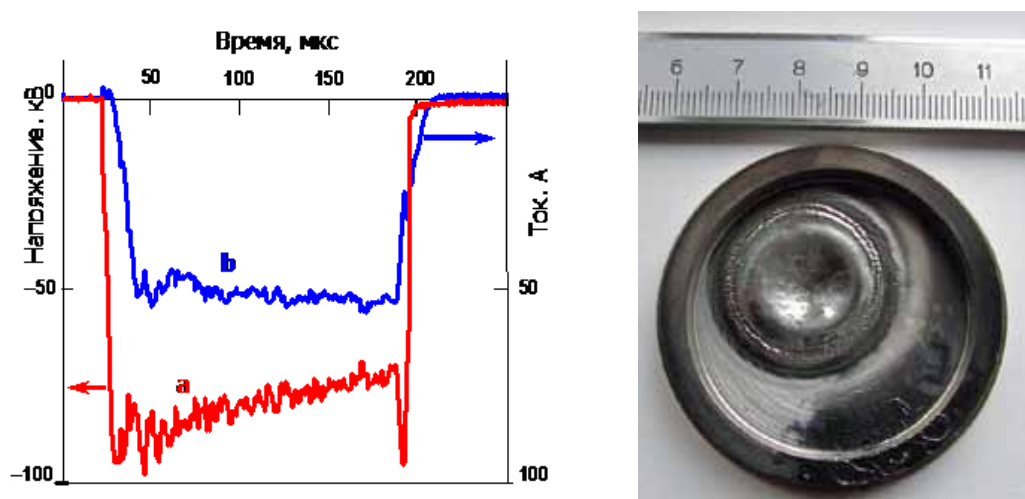


Рис. (4.4)16. Типичные осциллограммы пучка и отпечаток на коллекторе в конце трубы дрейфа (на расстоянии 50 см от ЭОС).

#### 4.4.9 Заключение

На установке ГОЛ-3 продолжаются 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 счет проведения специализированных экспериментов. Развиваются новые технологии нагрева плазмы, которые позволят увеличить её параметры. Проводились также прикладные исследования по различным направлениям.

В ноябре 2010 года было проведено Третье рабочее совещание по программе ГОЛ-3, на котором сотрудниками лабораторий-участников эксперимента было представлено более 30 докладов, обсуждавших текущие результаты и перспективы работ на установке.

Участники работы: А. В. Бурдаков, А. П. Авроров, А. В. Аржанников, В. Т. Астрелин, В. И. Баткин, А. Д. Беклемишев, В. Б. Бобылев, В. С. Бурмасов, П. В. Быков, Л. Н. Вячеславов, Г. Е. Деревянкин, В. Г. Иваненко, И. А. Иванов, М. В. Иванцовский, П. В. Калинин, И. В. Кандауров, И. А. Котельников, С. В. Кузнецов, К. Н. Куклин, А. Г. Макаров, М. А. Макаров, К. И. Меклер, С. В. Полосаткин, С. С. Попов, В. В. Поступаев, А. Ф. Ровенских, С. Л. Синицкий, В. Ф. Складаров, Н. В. Сорокина, В. Д. Степанов, А. В. Судников, Ю. С. Суляев, И. В. Тимофеев, А. В. Терехов, Ю. А. Трунев, А. А. Шошин, В. А. Яровой

**5**  
**Установки**  
**со встречными**  
**электрон-позитронными**  
**пучками**





## 5.1 ВЭПП-2000 в 2010 году

Первый пучок в ВЭПП-2000 был получен в сентябре 2007 года. Первые измерения светимости и сканирование  $\phi$ -мезонного резонанса были проведены с детектором СНД в 2008 году. В 2009 году детектор КМД-3 был установлен на накопитель, и ВЭПП-2000 приобрел настоящий вид.

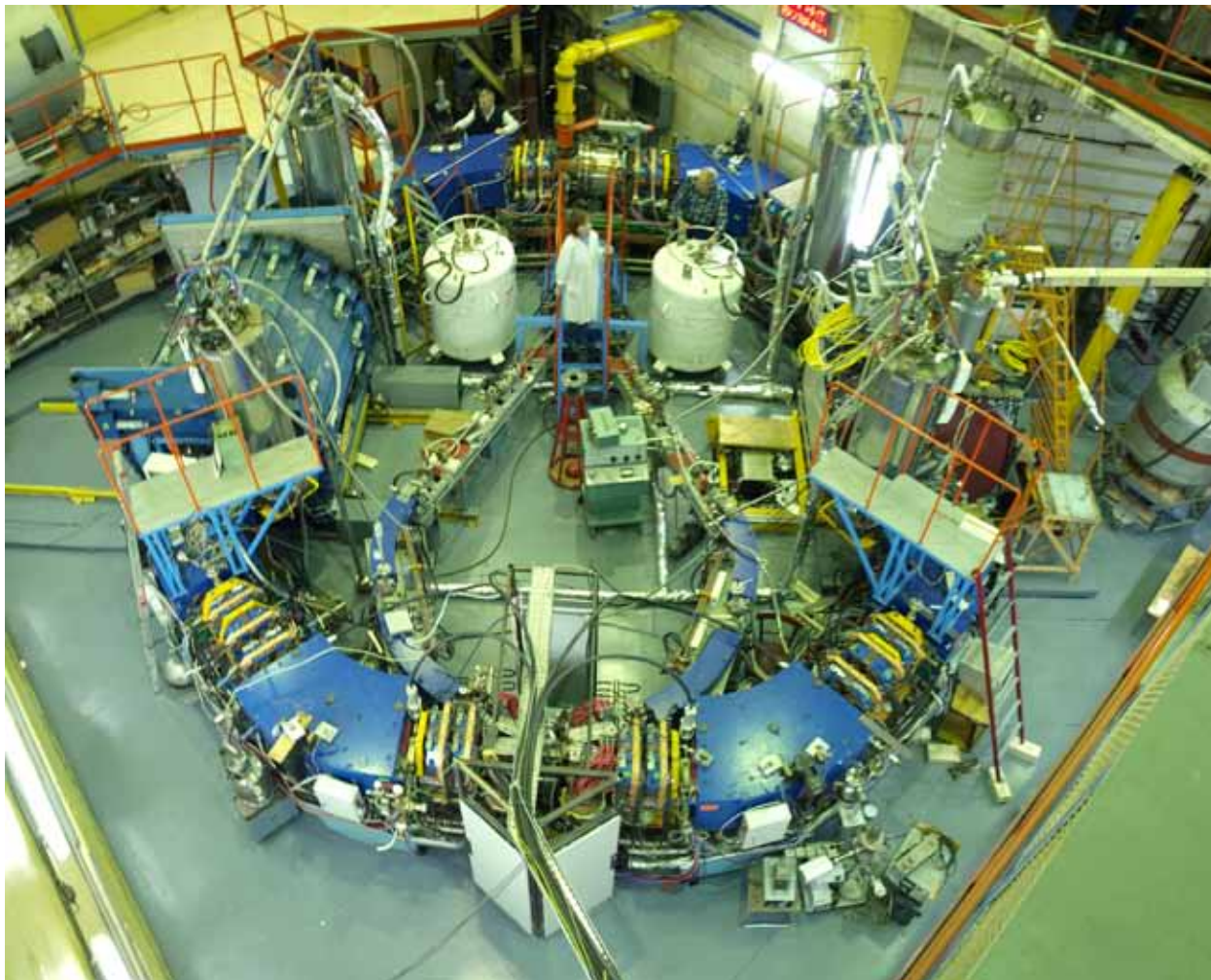


Рис.(5.1)1. ВЭПП-2000 с детекторами СНД и КМД-3

### 5.1.1 Первый экспериментальный заход с детекторами СНД и КМД-3

В конце 2009 года КМД-3 был готов к началу измерений. Были проведены калибровки систем КМД-3 в области  $\phi$ -мезонного резонанса. Одновременно это измерение послужило отправной точкой для калибровки шкалы энергии пучков в ВЭПП-2000. После  $\phi$ -мезона был начат эксперимент по сканированию области энергии выше  $\phi$ -мезона с шагом 50 МэВ и с набором в каждой точке интеграла светимости порядка 500 нб<sup>-1</sup>. Целью этого захода являлось прокалибровка системы идентификации частиц в обоих детекторах, проверка работоспособности всех систем питания накопителя, отработка деталей управляющих программ и взаимодействие трех компьютерных кластеров (ускоритель и два детектора). Заход продолжался 6 месяцев.

Измерение светимости накопителя велось на обоих детекторах по упругому рассеянию электронов и позитронов. К концу сезона суммарный интеграл светимости, записанный детектором СНД, составил около 7000 нб<sup>-1</sup>. Распределение по энергиям записанного интеграла светимости представлено на рис.(5.1)2.



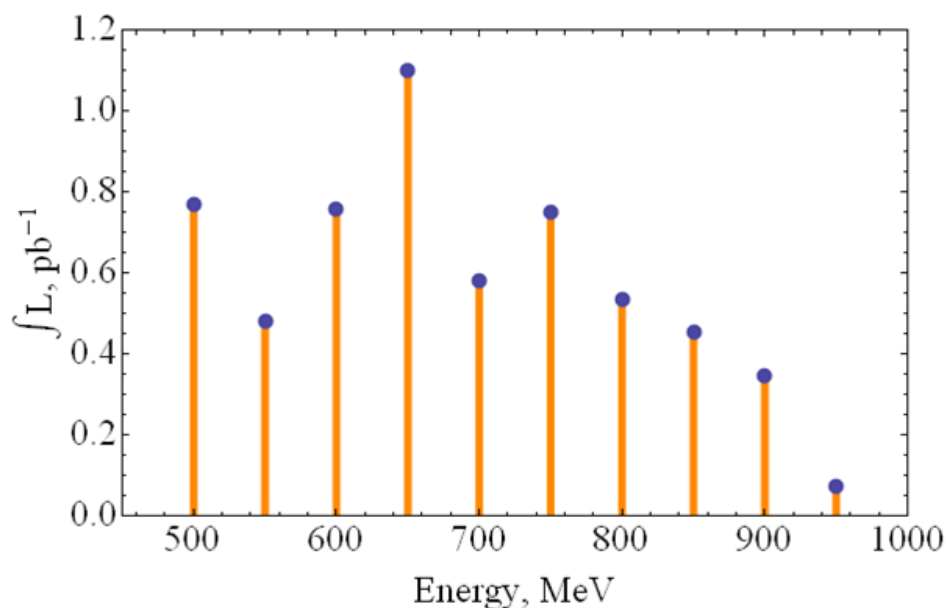


Рис.(5.1)2. Набор светимости (по данным СНД)

Снижение набранной светимости в области больших энергий связано с ограничением энергии перепуска частиц из бустерного накопителя БЭП. Несмотря на то, что максимальное поле БЭП достаточно для подъема энергии пучков до 900 МэВ, реальные ограничения подъема больших токов (50–60 мА) возникли из-за недостаточно высокого напряжения ускоряющего резонатора и слабых секступольных корректоров. Выше 800 МэВ подъем энергии осуществлялся в самом коллайдере ВЭПП-2000. Отсутствие системы разведения пучков в местах встречи значительно осложнило этот процесс. Кроме того, вихревые токи, наводимые в азотных экранах сверхпроводящих соленоидов при изменении энергии, приводили к значительным сдвигам частот бетатронных колебаний (до  $\pm 0,02$ ). Этот эффект снижал как скорость подъема от инжекции до энергии эксперимента, так и длительность обратного спуска, что приводило к большой потере времени и токов встречных пучков.

Таким образом, первый экспериментальный заход со всей очевидностью показал необходимость увеличения энергии бустера БЭП до 1 ГэВ, для того, чтобы ВЭПП-2000 на любой энергии мог работать в «режиме фабрики». Первая проработка этой идеи, учитывая переход на пучки от инжекционного комплекса приведена в разделе «Модернизация БЭП».

### 5.1.2 Радиационная поляризация и калибровка энергии

В конце первого экспериментального сезона был проведен пробный эксперимент по калибровке энергии ВЭПП-2000 методом резонансной деполяризации. Прежде всего, необходимо сказать, что наличие сильных соленоидов в магнитной структуре накопителя приводит к значительным ограничениям для радиационной поляризации пучков. Поляризация возможна только при противоположной полярности соленоидов в каждом экспериментальном промежутке. Более того, результат зависит также и от последовательности полярностей соленоидов на кольце в целом. Если расположение соленоидов подчеркивает первую орбитальную гармонику продольного поля, то радиационная поляризация возможна в области энергий от 0,6 до 1 ГэВ со сравнительно малым временем поляризации. На рис.(5.1) 3 представлены расчеты программой «ASPIRRIN» [1] степени (вверху) и времени (в средней части) эффекта радиационной поляризации в зависимости от энергии.

В идеальном случае, когда интеграл поля соленоидов равен нулю (слева) отсутствуют как целый резонанс (спиновая частота  $\nu = 2$ ), так и спин-бетатронные резонансы  $\nu = 4 - \nu_1$  и  $\nu = \nu_2 - 2$ . Однако, эти резонансы немедленно возникают при нарушении симметрии продольного поля.

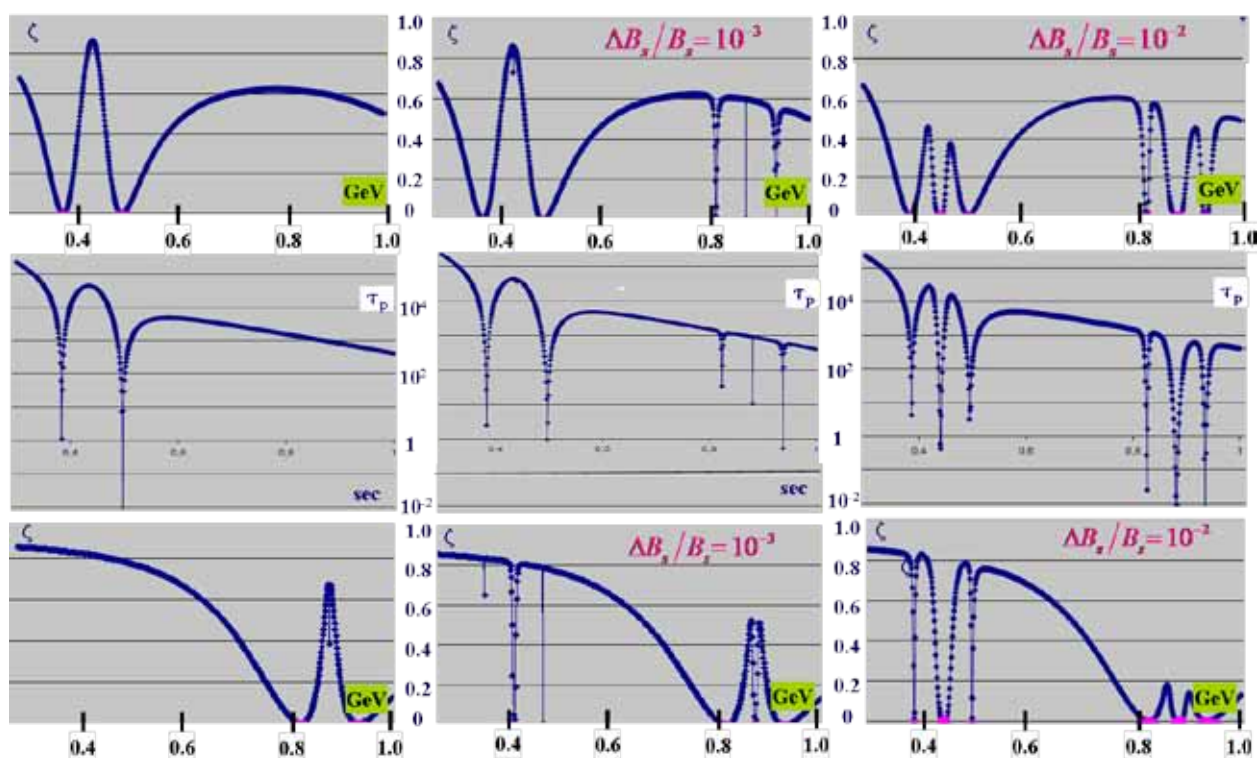


Рис.(5.1)3. Расчет радиационной поляризации на ВЭПП-2000.

Нижняя часть рис.(5.1) 3 показывает ситуацию, когда расположение соленоидов создает вторую орбитальную гармонику. Здесь существование поляризации возможно только в области низких энергий 200–600 МэВ. Большое время поляризации в этой области не позволяет использовать радиационную поляризацию в самом ВЭПП-2000. Однако, резонансная деполяризация в этом случае возможна с пучком, предварительно поляризованным на высокой энергии в бустере БЭП.

Для регистрации эффекта деполяризации пучка по измерению скорости счета частиц, рассеянных внутри сгустка, на ВЭПП-2000 были поставлены в одном техническом промежутке два подвижных сцинтилляционных счетчика (см. рис.(5.1) 4). Кроме того, был разработан 2-х канальный радиочастотный усилитель, питающий деполяризатор, состоящий из 4 коротких (10 см) пластин в вакуумной камере накопителя. Расположение пластин позволяет возбуждать магнитное поле любого направления в плоскости, поперечной орбите пучка.



Рис.(5.1)4. Пробники для счетчиков частиц.

Для первого измерения была выбрана энергия 750 МэВ, при которой время радиационной поляризации составляет примерно полчаса и отсутствуют сильные деполяризующие резонансы, даже в предположении нарушения симметрии соленоидов до уровня 1%.

Деполяризатор работал на частоте  $f_d = f_0(2 - \nu)$ . Первоначально сканирование частоты деполяризатора осуществлялось в полосе частот порядка  $\Delta f_d \approx 0,01 f_d$  со скоростью 10 Гц/сек. После наблюдения первых скачков скорости счета, нормированной на квадрат тока пучка, область частот была сужена в 2 раза, а скорость сканирования - в 10 раз. Данные этих измерений представлены на рис.(5.1) 5.

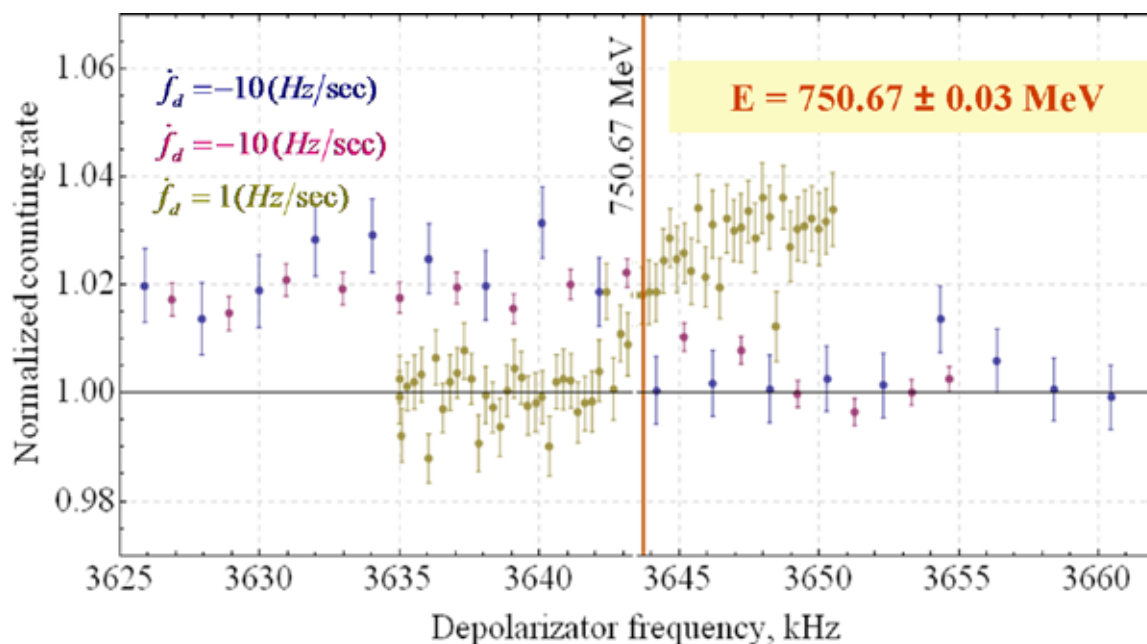


Рис.(5.1)5. Измерение энергии по методу резонансной деполяризации

Как видно из рис. (5.1)5 скачок скорости счета во всех случаях происходит в узкой области частот деполяризатора, что позволяет определить энергию пучка :  $E = 750,67 \pm 0,03 \text{ МэВ}$ . Полученное значение энергии достаточно хорошо совпадает с ожидаемым, основанном на магнитных измерениях и калибровке энергии по массе  $\phi$ -мезонного резонанса.

### 5.1.3 Коррекция орбиты и магнитной структуры ВЭПП-2000

При изменении энергии ВЭПП-2000 в широких пределах в течение длительного времени захода неизбежно возникает необходимость коррекции равновесной орбиты частиц и настройки магнитно-оптической системы накопителя. Для ВЭПП-2000 это особенно актуально, учитывая работу магнитов при сильном насыщении.

Главной задачей при коррекции замкнутой орбиты (ЗО) ВЭПП-2000 является её минимальное отклонение от магнитных осей выбранных элементов. После коррекции замкнутой орбиты можно запомнить положение пучка на всех датчиках положения пучка (ДПП) и использовать эти данные для последующих правок орбиты. В качестве ДПП на ускорителе ВЭПП-2000 используются 16 ПЗС камер, которые детектируют синхротронное излучение электронов и позитронов из дипольных магнитов, и 4 датчика зарядов изображений, так называемые “пикапы”. ПЗС камеры не закреплены жёстко, поэтому время от времени их положение изменяется, соответственно для коррекции орбиты по данным с ДПП необходимо производить регулярные калибровки.

Первый метод коррекции орбиты (КО), который был автоматизирован на ВЭПП-2000, был метод коррекции относительно магнитных центров квадрупольных линз.

Если в квадрупольной линзе частица имеет отклонение  $\delta \vec{l} = (\delta x, \delta y)$ , тогда изменение градиента в этой линзе на величину  $\delta G$  приведет к сдвигу ЗО такому же, как от дипольного корректора

с полем  $\delta\vec{H} = (\delta x \delta G, \delta y \delta G)$ . Измеряя отклонения орбиты в ДПП, вызванные изменениями градиентов в линзах, можно сконструировать векторы откликов  $\delta\vec{X}_{\text{exp},i}$ .

Так как структура ускорителя известна, то можно вычислить теоретические отклики  $\delta\vec{X}_{\text{mod},i}$  на дипольные корректоры в соответствующих линзах. Чтобы найти абсолютную координату ЗО в линзе номер  $i$ ,  $\vec{X}_{\text{err},i}$ , необходимо минимизировать следующий функционал:

$$F(\lambda_i) = (\vec{\chi}_{\text{mod},in} \lambda_i - \vec{\chi}_{\text{exp},in})^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

Здесь  $\vec{\chi}_{\text{mod},in}$  и  $\vec{\chi}_{\text{exp},in}$  — это измеренные и модельные векторы откликов, нормированные на точность измерений  $\sigma_{in}$ :

$$\vec{\chi}_{\text{mod},in} = \left\{ \frac{\delta x_{\text{mod},i1}}{\sigma_{i1}}, \dots, \frac{\delta x_{\text{mod},iN}}{\sigma_{iN}} \right\} \quad (2)$$

$$\vec{\chi}_{\text{exp},in} = \left\{ \frac{\delta x_{\text{exp},i1}}{\sigma_{i1}}, \dots, \frac{\delta x_{\text{exp},iN}}{\sigma_{iN}} \right\}$$

Функционал имеет минимальное значение при следующих параметрах:

$$\lambda_{\text{min},i} = \frac{(\vec{\chi}_{\text{mod},i} \cdot \vec{\chi}_{\text{exp},i})}{\vec{\chi}_{\text{mod},i}^2} \quad (3)$$

Теперь абсолютные координаты пучка в линзах вычисляются по формулам:

$$\delta x_{\text{err},i} = \frac{\delta H_{y,i} \lambda_{\text{min},i}}{\delta G_i}, \quad \delta y_{\text{err},i} = \frac{\delta H_{x,i} \lambda_{\text{min},i}}{\delta G_i} \quad (4)$$

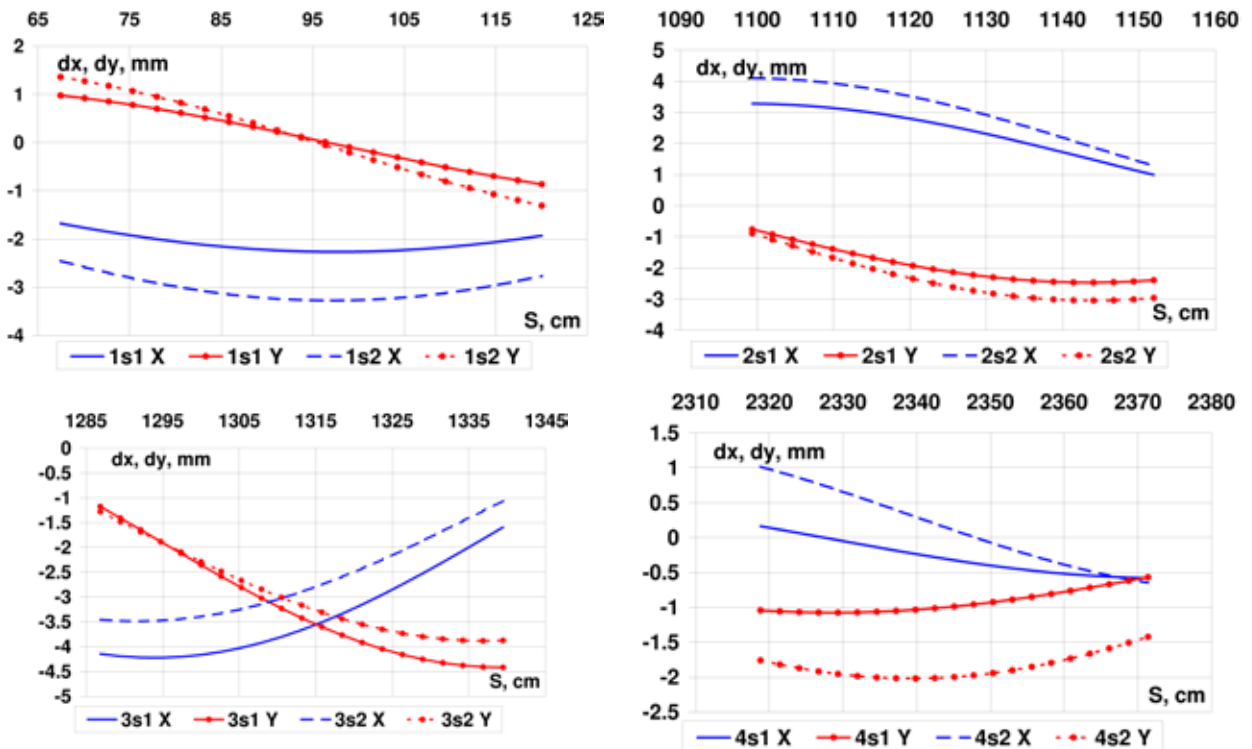


Рис.(5.1)6. Пример восстановленного отклонения орбиты

Для некоторых элементов (например, длинные соленоиды финального фокуса на ВЭПП-2000) необходимо знать точную информацию о прохождении траектории ЗО относительно его магнитной оси. Рис.(5.1) 6 иллюстрирует восстановленную орбиту внутри соленоидов финального фокуса ВЭПП-2000 относительно их магнитных осей. Соленоиды xS1 и xS2 являются катушками одного соленоида и должны быть коаксиальны. Судя по всему, гигантские напряжения, возникающие в соленоидах и ошибки при изготовлении, вызвали различия в измеренных сдвигах. Большой синхронный сдвиг орбиты является следствием намеренного искажения орбиты, целью которого было уменьшить фоны в детекторах.

Для исправления искажений ЗО  $X_i$  необходимо вычислить матрицу отклика  $M_{ij}$ , состоящую из сдвигов ЗО, вызванных единичными токами в корректорах из выбранной группы. После этого необходимо найти такие токи  $I_j$ , которые минимизировали бы величину  $\|F\|$ :

$$F_i = \frac{X_i}{\sigma_i} - \frac{M_{ij}}{\sigma_i} I_j, \quad \sigma_i^2 = \sigma_{stat,i}^2 + \sigma_{syst,i}^2. \quad (5)$$

Программное обеспечение для оптимизации корректоров на ВЭПП-2000 использует SVD разложение для обращения прямоугольных матриц:

$$I_j = \left( \frac{M_{ij}}{\sigma_i} \right)_{SVD}^{-1} \frac{X_i}{\sigma_i}. \quad (6)$$

Неточности теоретической модели приводят к ошибкам при исправлении орбиты, так что необходимо проводить несколько итераций.

Рис.(5.1) 7 иллюстрирует уменьшение отклонения ЗО от магнитных центров квадруполов после коррекции.

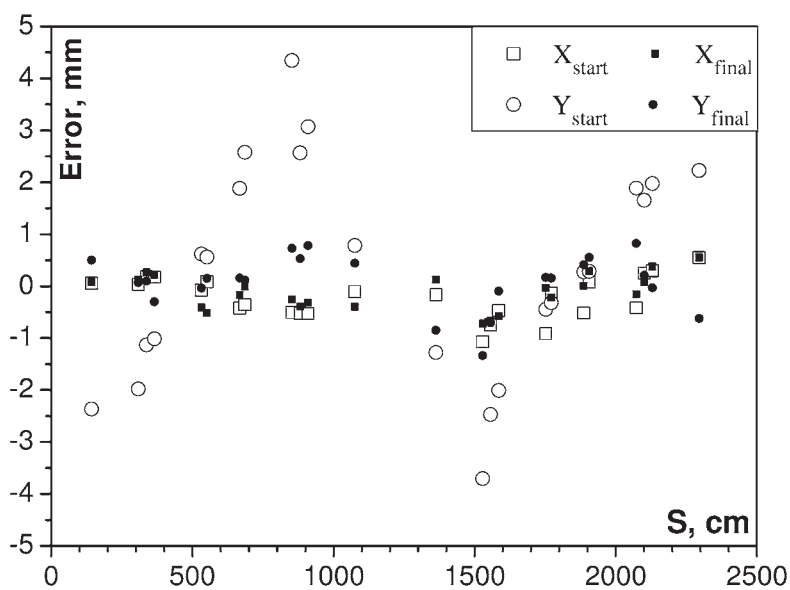


Рис. (5.1)7. Пример коррекции орбиты.

#### 5.1.4 Оптимизация силы корректоров

Иногда возникает ситуация, когда некоторые корректоры работают друг против друга, так что токи в них можно существенно уменьшить, почти не изменив положения ЗО. На комплексе ВЭПП-2000 было разработано специальное приложение, которое позволяет легко оптимизировать силы корректоров. На первом этапе программа собирает данные о силе выбранных корректоров и вычисляет искажение ЗО, создаваемое ими:

$$X_{dist} = \sum_{corr} X_i = M_{corr} I_{corr,i}. \quad (7)$$



После этого производится вычисление оптимальных токов, которые вызывают искажение ЗО, отличающееся от начального на приемлемую величину:

$$I_{optimal,i} = (M_{corr})_{SVD}^{-1} X_{dist} \quad (8)$$

$$\Delta X_{CO} = M_{corr} (I_{corr,i} - I_{optimal,i}).$$

Оператор контролирует разность между ЗО до и после оптимизации путем подбора количества сингулярных чисел, участвующих при вычислении обратной матрицы  $(M_{corr})_{SVD}^{-1}$ . После настройки силы корректоров необходимо произвести коррекцию орбиты, поскольку теоретическая модель ускорителя незначительно отличается от реальной. В Таблице(5.1) 1 представлены результаты описанной процедуры.

Таблица (5.1)1. Настройка силы корректоров

	до настройки	после настройки	после правки
$\frac{\sum I_{corr}}{N_{corr}}$	0.52 А	0.22 А	0.28 А

### 5.1.5 Коррекция структуры ускорителя

Одной из главных проблем при введении ускорителя в строй, а так же при его постоянной работе, является обнаружение и устранение ошибок в линейной магнитной структуре машины. Для коррекции структуры ВЭПП-2000 была написана программа, реализующая алгоритмы, обсуждаемые в статьях [2, 3, 4, 5]. Главная идея метода заключается в минимизации величины  $\chi^2$ , путем подбора выбранных параметров:

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(M_{mod,ij} - M_{mes,ij})^2}{\sigma_{ij}^2} = \sum_{ij} V_{k(ij)}^2. \quad (9)$$

Здесь  $M_{exp,ij}$  и  $M_{mod,ij}$  — это экспериментальная и теоретическая матрицы откликов ЗО в  $i$ -м ДПП на вариацию  $j$ -го корректора,  $\sigma_{ij}$  — точность соответствующих измерений. Основной особенностью написанной программы является использование шестимерного фазового пространства при расчетах откликов на дипольные корректоры.

Таблица (5.1)2. Усредненные правки токов в квадруполях в четырех последовательных итерациях

Итерация	1	2	3	4
$100 \times \frac{\sum \Delta I_{quad} / I_{quad}}{N_{quads}}$	6.17	3.24	0.85	0.24

После улучшения программы “sixdsimulation” процедура коррекции структуры ускорителя производится автоматически. Взаимодействие оператора с программой организовано через серию диалоговых окон, в которых можно задать необходимые параметры. Одна итерация коррекции оптики занимает порядка 60 минут. Из них 50 минут занимает измерение матрицы откликов ЗО на дипольные корректоры, бетатронных частот и дисперсии. Ещё 10 минут уходит на то, чтобы пройти через серию диалоговых окон и настроить параметры коррекции. Таблица (5.1)2 и Рис.(5.1) 8 иллюстрируют успешную коррекцию сильного искажения магнитной структуры ВЭПП-2000.



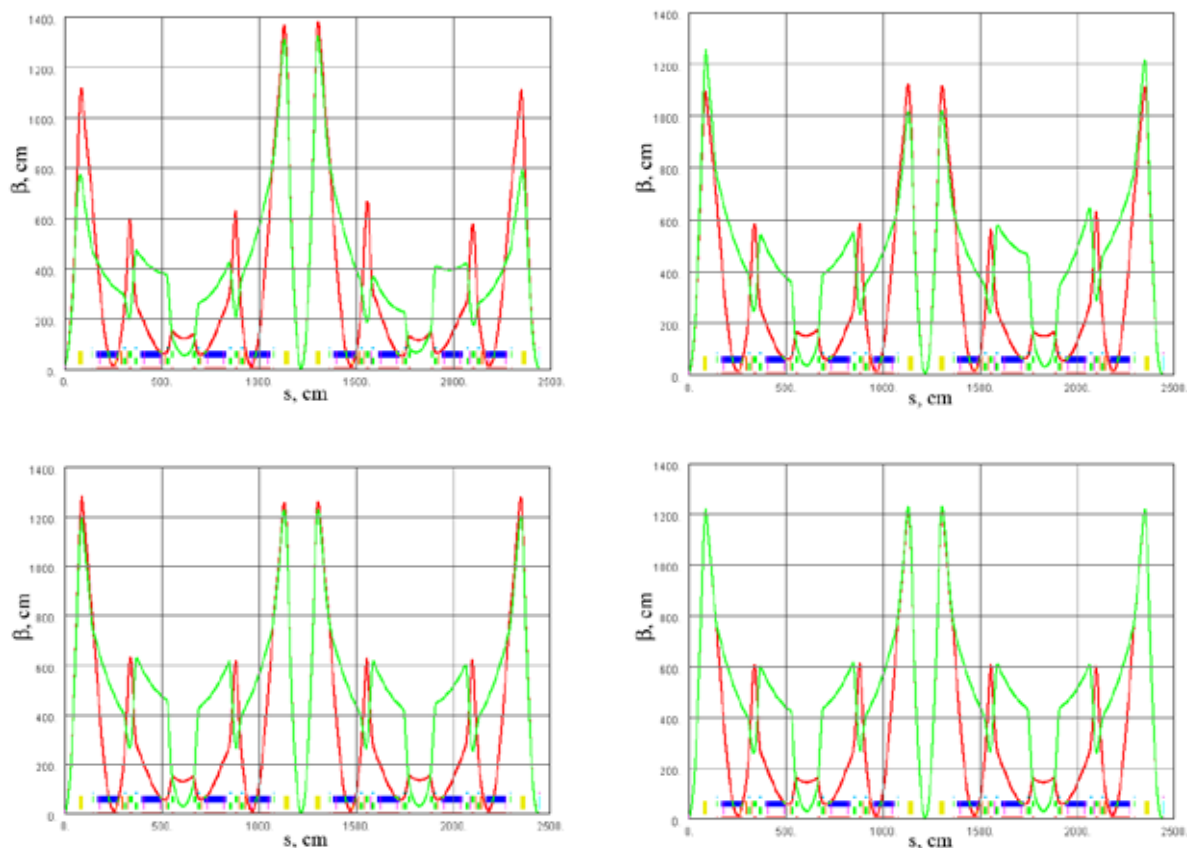


Рис.(5.1)8. Пример коррекции структуры ВЭПП-2000.

Для оперативного управления накопителем очень полезным инструментом оказались так называемые «ручки», с помощью которых можно изменять частоты бетатронных колебаний вдоль и поперек резонанса связи, корректировать величину связи  $X$  и  $Z$  колебаний, исправлять ведущие гармоники искажений орбиты, создавать локальные сдвиги («бампы») орбиты и т.д. При этом основным инструментом является программа «ОРБИТА», которая сводит воедино оптические измерения ПЗС камер в 16 точках орбиты и данные с 4-х пикап электродов, расположенных в триплетных промежутках.

Эта же программа применяется для изучения эффектов встречи. На рисунках ниже показаны расчетные огибающие поперечных размеров пучка и их измеренные значения для двух случаев. Рис.(5.1) 9 демонстрирует «естественные» размеры при малых токах пучков, когда эффекты встречи отсутствуют. Видно хорошее соответствие величин, полученное после правки магнитной оптики, описанной выше. Однако, в случае встречи большого электронного пучка  $I^- = 45$  мА с малым позитронным  $I^+ = 3$  мА размеры последнего сильно возрастают вне мест встречи (Рис.(5.1) 10).

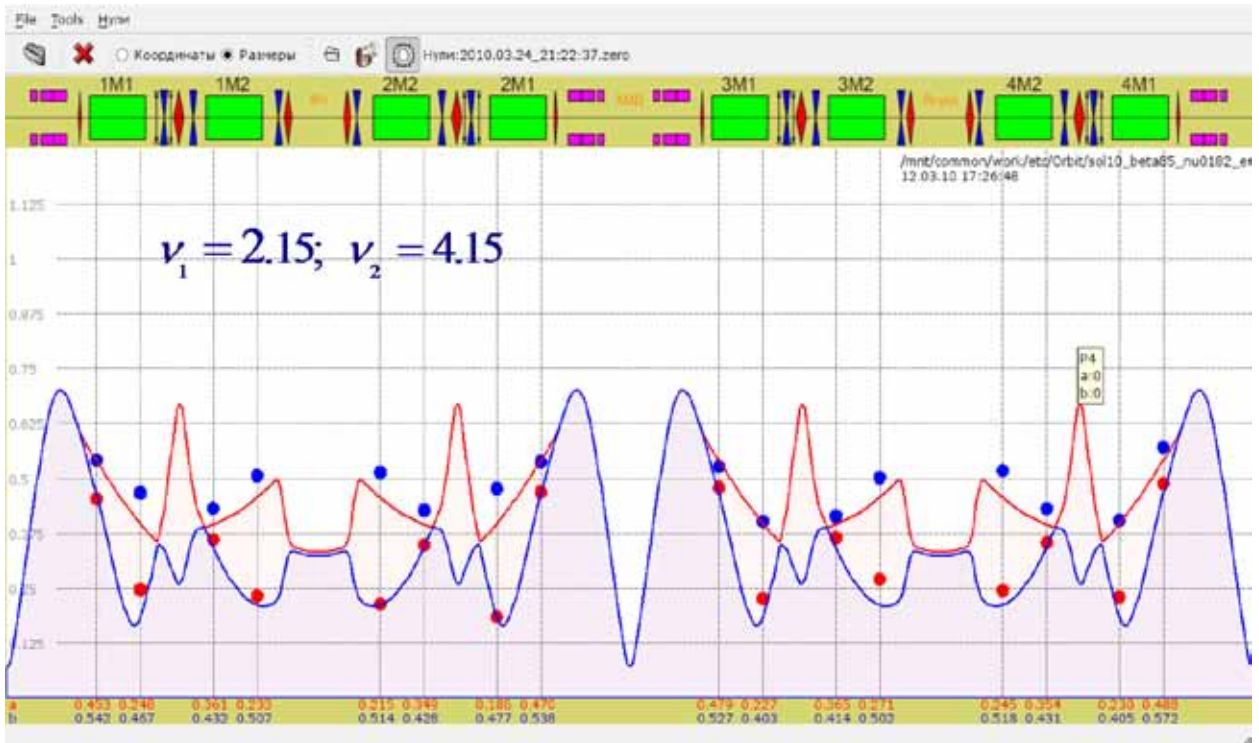


Рис.(5.1)9. Огибающие и размеры пучка

$$I^+ = 3 \text{ MA}; \quad I^- = 45 \text{ MA}; \quad \xi^+ = 0.1$$

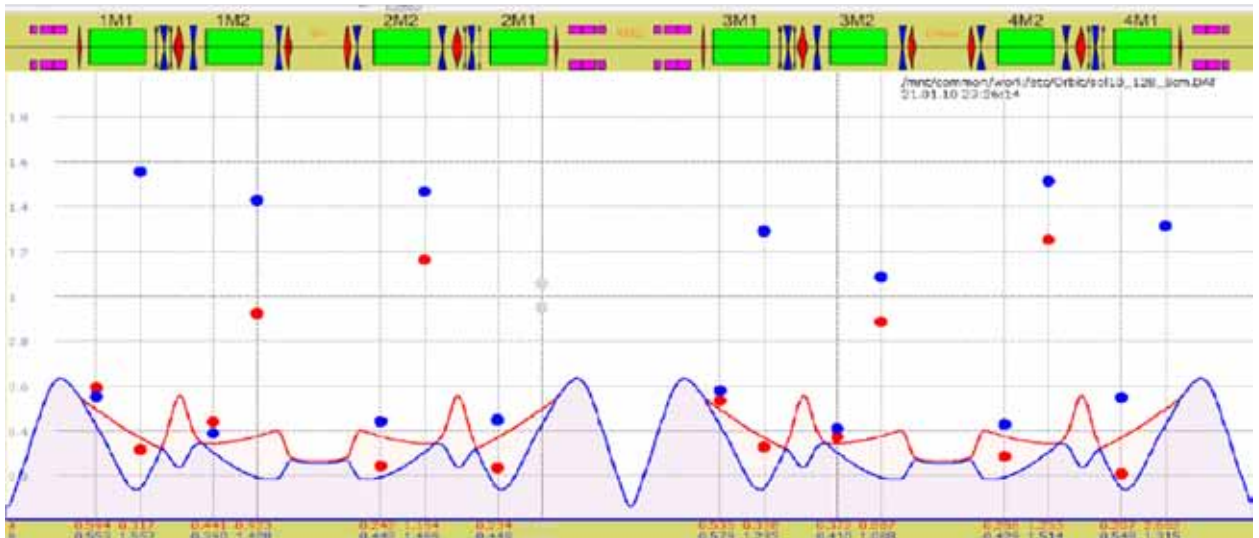


Рис.(5.1)10. Сильно-слабые эффекты встречи

### 5.1.6 Измерение светимости

Измерения светимости на ВЭПП-2000 производятся с 2007 года по данным, передаваемым с детекторов. Однако, такие измерения довольно медленные (одно измерение за 30 с), и имеют большую статистическую погрешность, вследствие чего флуктуируют и не всегда удобны для настройки ускорителя. В качестве альтернативного инструмента было реализовано независимое измерение светимости по размерам пучков. Действительно, для вычисления светимости необходимо знать лишь размеры в месте встречи и интенсивность сталкивающихся сгустков. При этом, даже в машине с одним кольцом размеры электронного и позитронного пучков, вообще говоря, различны вследствие эффектов встречи: динамические эмиттансы  $\epsilon$  и бета-функция  $\beta^*$  зависят от тока встречного пучка. Причём помимо линейных эффектов существует стохастический прирост эмиттанса

на машинных и порождаемых эффектами встречи нелинейных резонансах, что делает невозможным предсказание зависимости светимости от тока в случае сильных встречных сгустков.

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

Расчёт размеров и светимости делается в следующих предположениях:

1. Оптика невозмущённого кольца известна, включая транспортные матрицы, дисперсионную функцию и разброс импульсов в пучке.
2. Две арки, от места встречи до места встречи, всегда остаются идентичными друг другу, сохраняется зеркальная симметрия.
3. Оптика несвязанная, то есть можно использовать независимые матрицы перехода  $2 \times 2$ .

Для транспортировки размеров в место встречи (через фокусирующий соленоид), вообще говоря, это не так: соленоид разворачивает плоскость бетатронных колебаний на некий большой угол. Но общий разворот не имеет значения, поэтому в транспортной матрице учитывается только фокусировка соленоидом.

Удобно делать подгонку неизвестных параметров, эммитанса  $\varepsilon$  и бета-функции  $\beta_0$ , в точке зеркальной симметрии кольца, например, в центре технического промежутка, где параметр Твисса  $\alpha = 0$ . Переход из точки зеркальной симметрии, где  $\alpha = 0$ , в  $i$ -точку кольца осуществляется особенно просто:

$$\beta_i = \beta_0 \cdot (t_{11})_i + \beta_0^{-1} \cdot (t_{12})_i$$

где  $t_{ij}$  — элементы матрицы перехода  $2 \times 2$ . Подгонка эммитанса  $\varepsilon$  и бета-функции  $\beta_0$  в точке зеркальной симметрии по измеренным размерам  $\sigma_i$  в  $i$ -х точках осуществляется процедурой минимизации суммы квадратов разностей:

$$S = \sum_i \frac{(\sqrt{\varepsilon \cdot \beta_i} - \sigma_i)^2}{\sigma_i^2 + o_i^2} = \sum_i \frac{(\sqrt{\varepsilon (\beta_0 \cdot t_{11i}^2 + \beta_0^{-1} \cdot t_{12i}^2)} - \sigma_i)^2}{\sigma_i^2 + o_i^2}$$

где  $o_i$  — ошибка определения размеров, а  $\sigma_i$  — измеренный размер за вычетом дисперсионной

составляющей  $\sigma_\beta = \sigma - D \cdot \frac{\sigma_E}{E}$ . Независимо друг от друга подгоняются пары  $(\varepsilon, \beta_0)$  для

горизонтального и радиального движения, для электронов и позитронов. После подгонки, полученные параметры транспортируются в место встречи и вычисляется светимость:

$$L = \frac{N_1 N_2 f_0}{2\pi \sqrt{(\sigma_{1x}^2 + \sigma_{2x}^2)(\sigma_{1y}^2 + \sigma_{2y}^2)}}$$

где  $N$  — число частиц в сгустке,  $f_0$  — частота обращения.

Описанный метод измерения светимости хорошо (на уровне 10%) сходится с показаниями мониторов светимости детекторов СНД и КМД-3 при относительно низких токах. При предельных значениях токов (что соответствует параметру встречи  $\xi \sim 0,1-0,15$ ) происходит сильная деформация поперечного распределения частиц, распределение становится существенно негауссовским, определение размеров пучка по изображению с CCD-камер становится некорректным, соответственно, некорректной становится и подгонка эммитанса и бета-функций.

### 5.1.7 Модернизация БЭП

Магнитная структура бустера БЭП состоит из 12 периодов, каждый из которых содержит один дипольный магнит, две квадрупольные линзы и два секступоля для компенсации остаточного хроматизма фокусировки. Основная часть хроматизма подавляется секступольной компонентой поля квадрупольных линз, в которых полюса сделаны специальной формы. Изначально этот накопитель проектировался с большим энергетическим и поперечным аксептансом для накопления позитронов. Другая задача, которая решалась на БЭП — это получение пучков с малым поперечным фазовым объемом. Последнее качество БЭП позволило строить малоапертурные каналы транспортировки пучков в ВЭПП-2М и в ВЭПП-2000.

С переходом на инъекцию качественных пучков из инжекционного комплекса большой аксептанс БЭП становится ненужным. Логично использовать это обстоятельство для повышения максимальной энергии бустера до 1 ГэВ за счет уменьшения полюсных зазоров диполей и квадрупольных линз, сохраняя в целом магнитную оптику кольца и не затрагивая коммутации и обмоток магнитов и линз, запитанных последовательно от мощного выпрямителя с током до 10 кА.

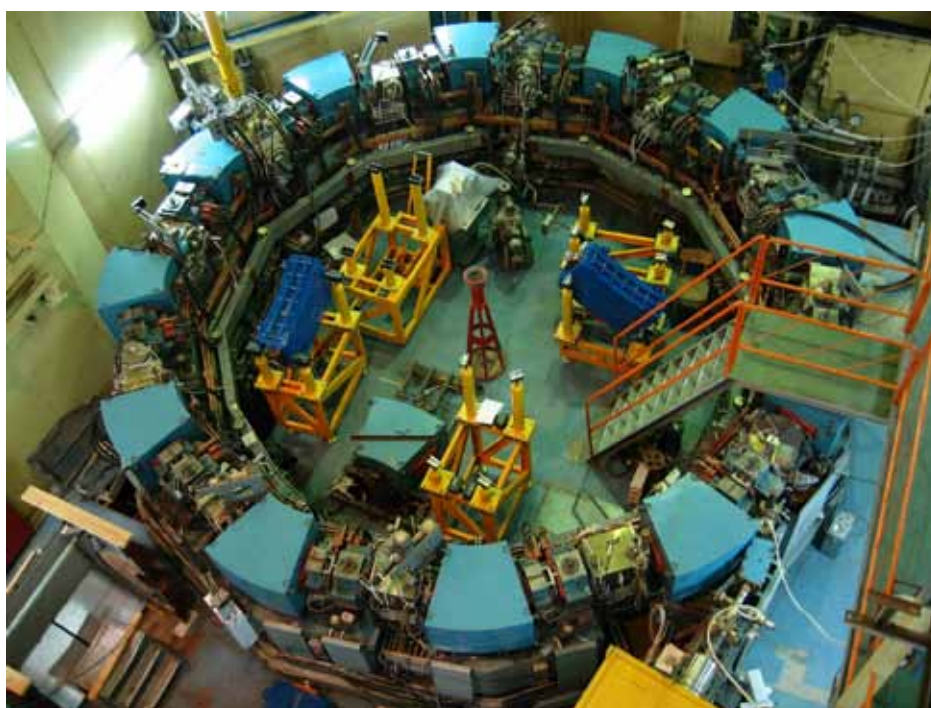


Рис.(5.1)11. Бустер БЭП.

Для подтверждения этой идеи были проведены расчеты магнитных полей диполей и квадрупольных линз. Требуемые для достижения цели незначительные доработки полюсных профилей показаны на Рис.(5.1) 12.

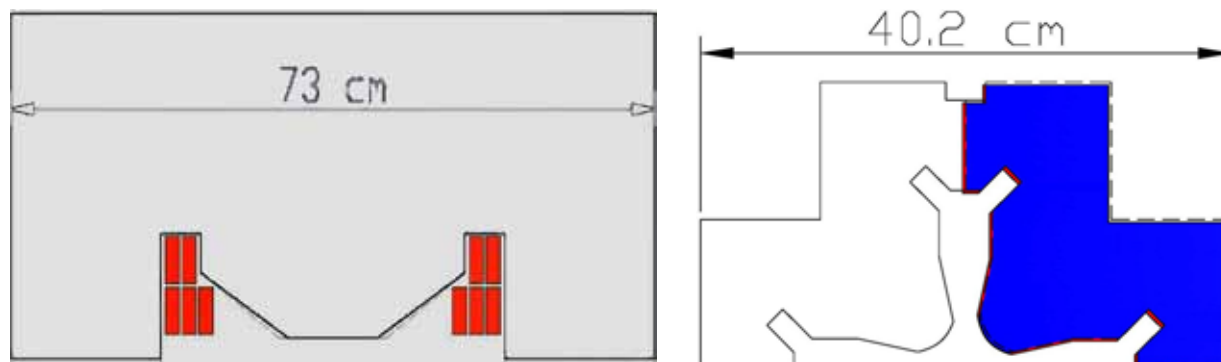


Рис.(5.1)12 Доработка магнита (слева) и линзы (справа) БЭП.



Вид кривой насыщения магнитного поля в диполе с зазором 32 мм представлен на Рис.(5.1) 13. Искомое поле в 26 кГс, необходимое для энергии 1 ГэВ, достигается при токе выпрямителя 9,5 кА, что обеспечивается существующим выпрямителем.

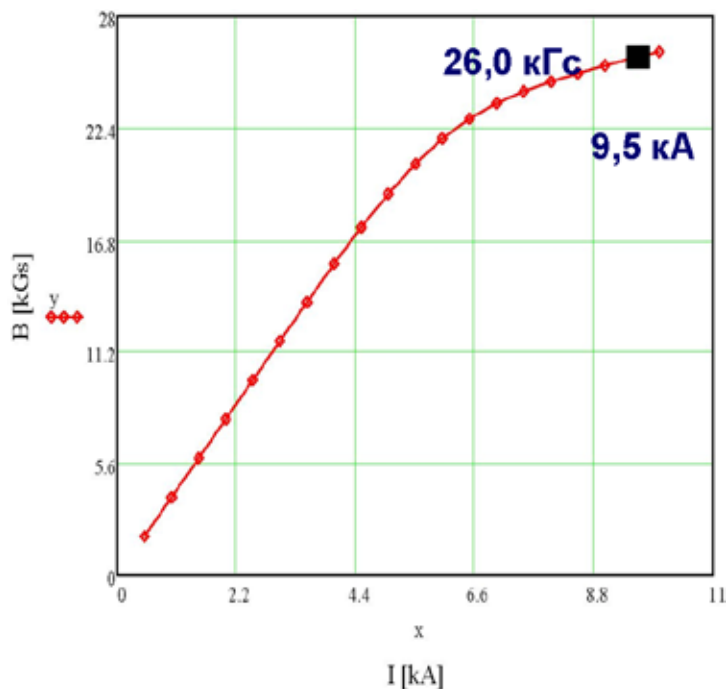


Рис. (5.1)13. Расчетная кривая насыщения поля БЭП с зазором 32 мм.

Вакуумная система БЭП содержит 12 промежутков, два из которых заняты впускным и выпускным магнитами, один ускоряющим резонатором. Остальные промежутки заняты откачными объемами, включая два с пластинами удара и предудара. В новой конфигурации сохраняются неизменными все промежутки кроме резонатора и впускного магнита для инъекции частиц из инъекционного комплекса с энергией 500 МэВ. Новый впускной магнит уже готов. Новый резонатор на частоту 174,4 МГц с ускоряющим напряжением 110 кВ спроектирован (см. Рис.(5.1) 14) и сдан в производство.

Вакуумная камера в магнитах и линзах представляет собой овальный профиль из алюминиевого сплава с продольным отверстием для водяного охлаждения (приемник СИ) и сварными фланцами из нержавеющей стали по концам. Пробная доработка такой камеры под новую конфигурацию магнитов и линз уже сделана в мастерской ИЯФ. Как показано на Рис.(5.1) 15 профиль камеры сплюснут до 31,5 мм в дипольном магните и слегка изменен в месте дефокусирующей линзы. Оставшаяся часть камеры сохраняет оригинальное сечение.

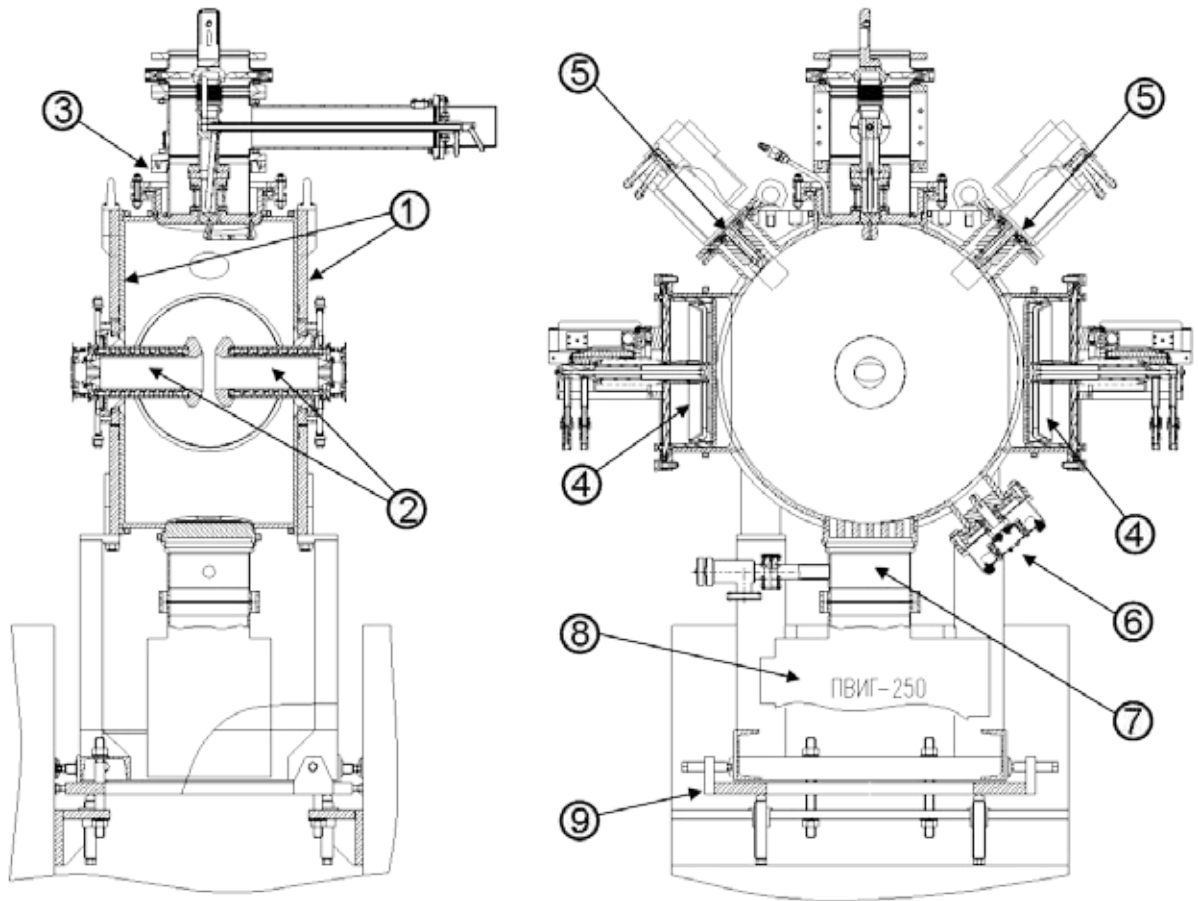


Рис.(5.1)14. Проект нового резонатора БЭП.

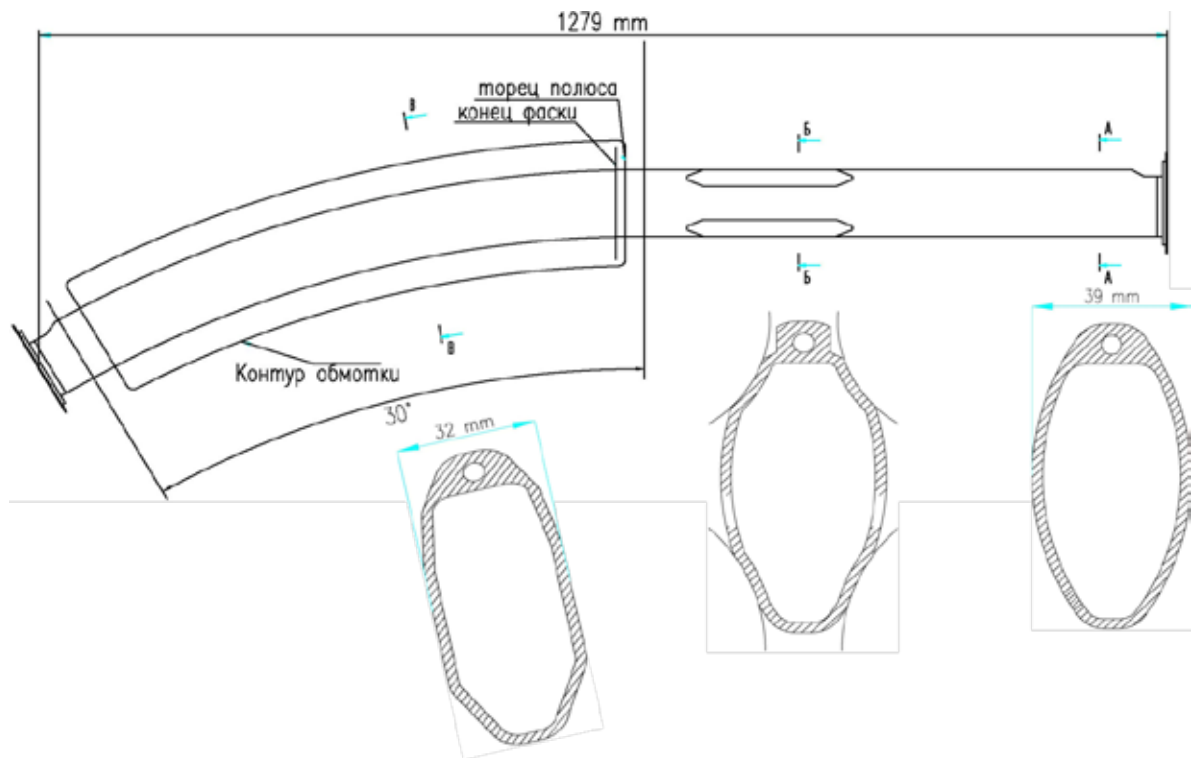


Рис.(5.1)15. Доработка вакуумной камеры БЭП.



## 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 2010 году на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М продолжались эксперименты по физике высоких энергий с детектором КЕДР. Подготовлены и проведены следующие эксперименты:

- измерение параметра  $R$  в диапазоне энергии пучка 0,9 – 1,5 ГэВ;
- сканирование  $\psi(2s)$ -мезона.

Кроме физики высоких энергий на комплексе проводились эксперименты с использованием пучков синхротронного излучения, выведенных из накопителей ВЭПП-3 и ВЭПП-4М.

Выполнен ряд работ по модернизации установок комплекса ВЭПП-4:

- модернизирована система измерения энергии пучка ВЭПП-4М методом обратного комптоновского рассеяния (ОКР);
- для повышения скорости инъекции позитронов на установке «Позитрон» отлажен режим работы с частотой 1,5 Гц;
- на ВЭПП-4М введена в регулярную эксплуатацию система продольной обратной связи;
- проведена отладка новой системы термоконтроля в режиме блокировки источников питания магнитов при перегреве.

На рис. (5.2).1 показано распределение времени по различным видам работ на комплексе ВЭПП-4 за 2010 год.

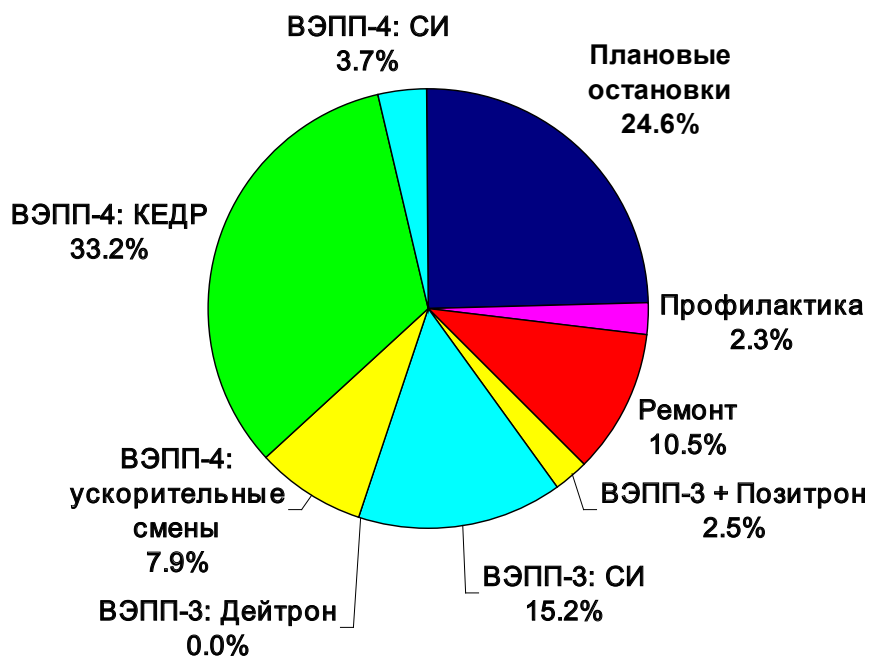


Рис.(5.2)1. Распределение рабочего времени на комплексе ВЭПП-4.

Как видно на рисунке, в этом году рабочее время комплекса распределено главным образом между экспериментами по физике высоких энергий с детектором КЕДР (33,2 %) и экспериментами с использованием синхротронного излучения (15,3 % ВЭПП-3 + 3,7 % ВЭПП-4). Рабочее время, выделяемое на исследования физики пучков и ускорителей (7,9 %), необходимо как для поддержания установок в рабочем режиме, требуемом для экспериментов, так и для актуальных исследований физики пучков. Регулярные профилактические работы (2,3%) выполняются еженедельно. Потери времени за счет неисправностей (10,5%) и ремонта обусловлены многочисленностью, сложностью и износом оборудования, большая часть которого эксплуатируется десятки лет.

## 5.2.2 Физика высоких энергий

В 2010 году продолжались эксперименты по физике высоких энергий с детектором КЕДР. В настоящее время основным экспериментом является измерение сечения  $e^+e^-$  аннигиляции в адроны в широком интервале энергий от 1,8 ГэВ до 8 ГэВ в системе центра масс (энергия пучков частиц – от 0,9 ГэВ до 4 ГэВ). Кроме того, проведено сканирование  $\psi(2S)$ -мезона.

Величина сечения  $e^+e^-$  аннигиляции в адроны обычно характеризуется параметром  $R$ , равным отношению этого сечения к расчетному сечению аннигиляции в мюоны. Величина  $R$  является одной из важнейших характеристик в физике кварков, которая определяет, в частности, величину адронного вклада в аномальный магнитный момент мюона и перенормировку электромагнитной константы связи. Наиболее интересным представляется измерение  $R$  в интервале от 5 до 7 ГэВ в системе центра масс. Этот интервал изучался ранее только в экспериментах с детекторами MARK-I и Crystal Ball. Однако, результаты MARK-I в настоящее время считаются ошибочными, а результат Crystal Ball не был опубликован в журналах, так что достоверных данных, включенных в Таблицы свойств частиц, нет.

В 2010 году в рамках эксперимента по измерению  $R$  был проведен набор статистики в диапазоне энергии пучка 0,9-1,5 ГэВ. Мониторинг параметров пучка при сканировании обеспечивался системой измерения энергии и энергетического разброса пучка по обратному комптоновскому рассеянию (ОКР) лазерных фотонов. Также было проведено несколько прецизионных измерений энергии пучка методом резонансной деполяризации с целью калибровки системы ОКР.

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

На рис. (5.3)2 показана измеренная светимость за 2010 год в зависимости от энергии пучка в сравнении с расчетной кривой  $L_{\text{calc}} = L_{\text{max}} @ 1,85\text{GeV} \cdot (E/1,85\text{GeV})^4$ . Как видно на рисунке, в основном максимальная светимость неплохо согласуется с теоретической кривой.

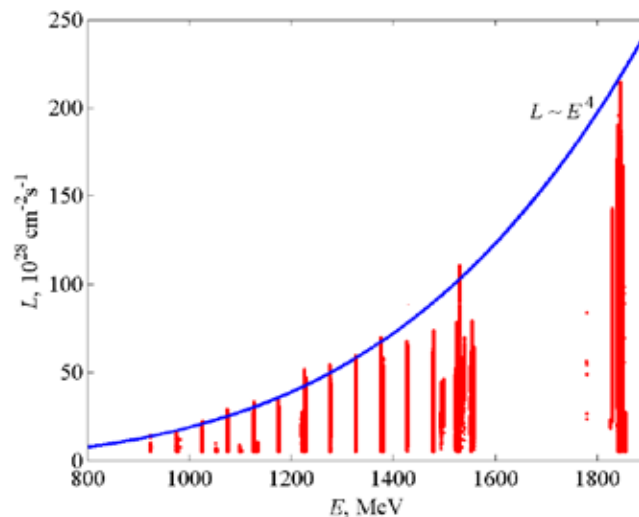


Рис.(5.2)2. Измеренная и расчетная светимость в зависимости от энергии пучка.

### 5.2.3 Модернизация системы ОКР

Метод измерения абсолютной энергии пучка с помощью обратного комптоновского рассеяния был реализован на ВЭПП-4М в 2005 году, впервые для установок на встречных пучках, и с тех пор является рутинным инструментом для мониторинга энергии пучка.

До модернизации область взаимодействия лазерного излучения с пучком электронов находилась в месте встречи электронного и позитронного пучков. При этом светимость является источником большого фона гамма-квантов высоких энергий от  $e^+/e^-$  рассеяния на малые углы. Поэтому при наборе статистики монитор светимости вводился, а для калибровки энергии – выводился, что приводило к потерям эффективного времени эксперимента.

В 2010 году область взаимодействия лазерного пучка с электронным для системы измерения энергии методом ОКР была перенесена на новое место – в промежуток между магнитами NEM1 и NEM2, как показано на рис. (5.3) 3. После удаления области взаимодействия лазерного излучения с пучком из места встречи и соответствующего перемещения детектора работа системы измерения энергии не зависит от режима работы ВЭПП-4М: со светимостью или без нее. Теперь набор спектров ОКР на HPGe детекторе ведется непрерывно с одинаковой скоростью, за 15 минут энергия пучка измеряется со статистической ошибкой 50 кэВ.

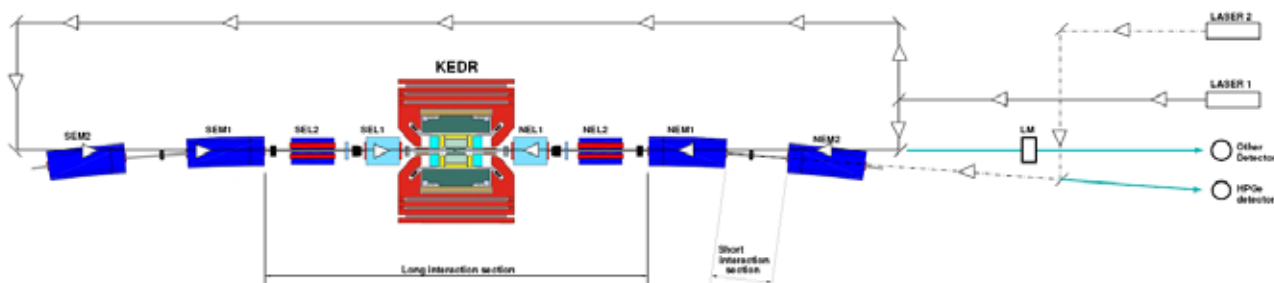


Рис.(5.2)3. Схема установки для измерения энергии пучка с помощью ОКР.

Такая модификация системы позволила:

- предотвратить попадание в HPGe детектор жёстких гамма квантов от  $e^+/e^-$  рассеяния на малые углы. Теперь измерения энергии ведутся непрерывно и параллельно с набором статистики детектором KE4DR, а монитор светимости не нужно двигать;
- восстановить схему лазерной калибровки системы регистрации рассеянных электронов детектора KE4DR.

Кроме того, в 2010 году калибровка энергетической шкалы HPGe детектора дополнена линией 6,13 МэВ от Pu-C13 источника. Это позволило уменьшить систематическую ошибку метода до  $(1,3-2,0) \cdot 10^{-5}$  в диапазоне энергий  $J/\psi - \psi(2s)$  (1,55 – 1,85 ГэВ). На рис. (5.3) 4 (верхний график) приведен пример совместного измерения энергии пучка ВЭПП-4М в течение суток методами ОКР и резонансной деполяризации (РД). На нижнем графике – энергетический разброс пучка, измеренный по ОКР за тот же период времени.

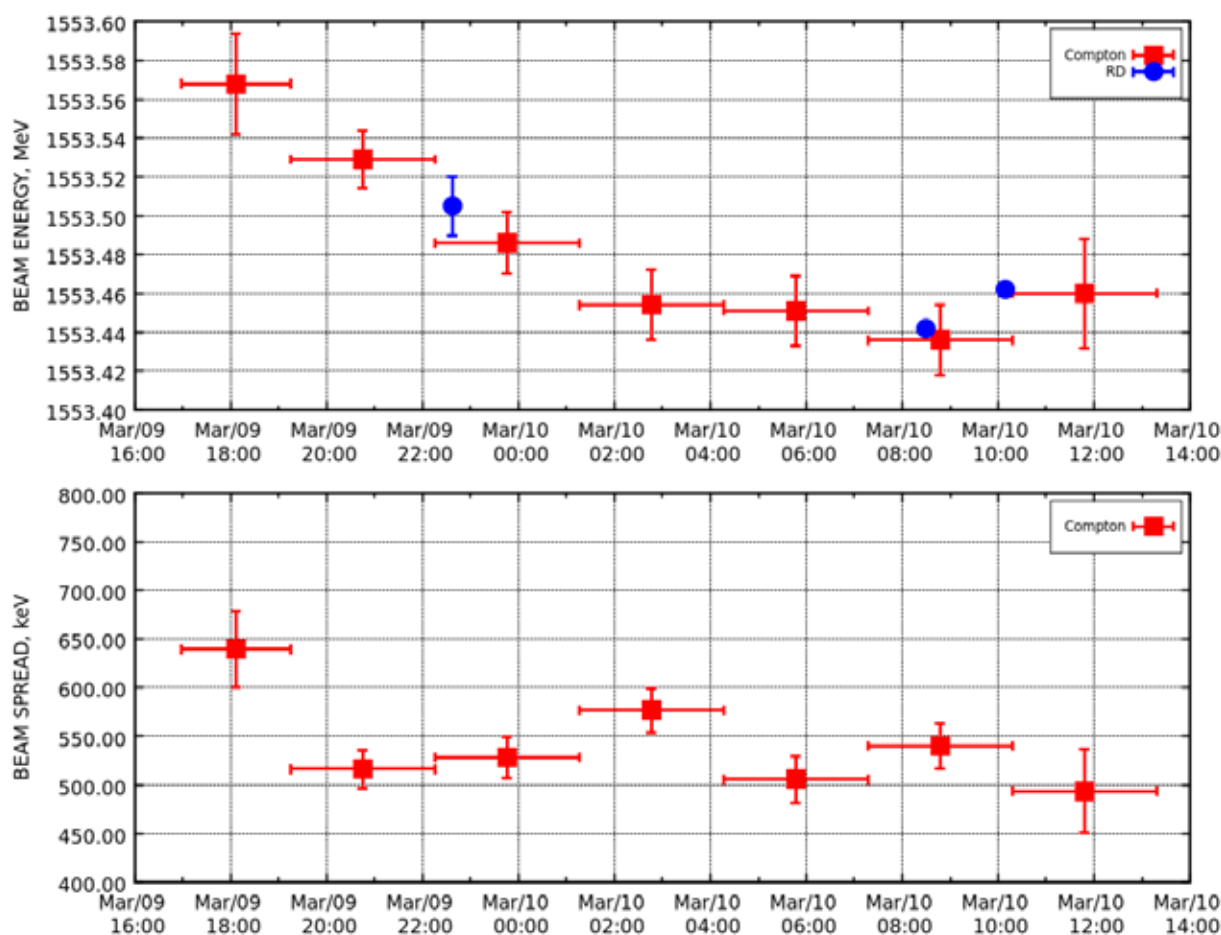


Рис.(5.2)4. Измерения энергии пучка ВЭПП-4М методами ОКР и РД.

В 2010 году экспериментально изучена применимость метода обратного комптоновского рассеяния для калибровки энергии пучка выше 2 ГэВ. На энергии пучка 3 ГэВ точность метода – 500 кэВ – достаточна для эксперимента по измерению R в этой области энергий.

#### 5.2.4 Модернизация инжектора «Позитрон»

Эффективность работы комплекса ВЭПП-4 в режиме экспериментов по физике высоких энергий в большой степени определяется скоростью накопления позитронов в бустерном накопителе ВЭПП-3. Для повышения скорости инжекции позитронов на установке «Позитрон» отлажен режим работы с частотой 1,5 Гц. С этой целью во время плановой остановки летом 2010 года проведен ряд подготовительных работ:

- модернизированы зарядные цепи мощных импульсных генераторов, питающих магнитные элементы синхротрона Б-4 и каналов транспортировки пучков, а также всех импульсных генераторов, питающих слаботочные корректирующие магниты;
- сконструирована и реализована система дополнительного охлаждения коммутатора Б-4;
- разработаны и изготовлены запасные блоки управления коммутацией Б-4;
- исследован тепловой режим нагрузок установки и осуществлено длительное испытание всех источников импульсного питания установки «Позитрон».

Рис. (5.2).5 иллюстрирует накопление позитронов в бустерный накопитель ВЭПП-3, достигнута средняя скорость накопления 66 мкА/с, а на рис. (5.3).6 приведен график тока пучка ВЭПП-3 в зависимости от времени. Как видно, для накопления пучка позитронов с током 50 мА в двух сгустках требуется около 15 минут.

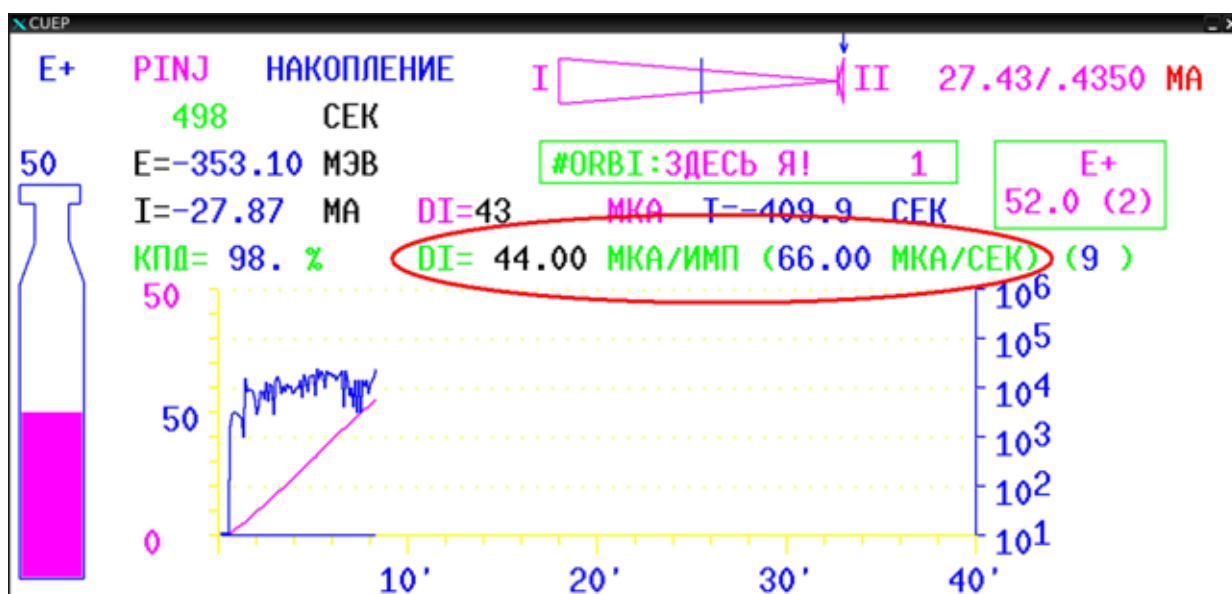


Рис. (5.2)5. Накопление позитронов в бустерный накопитель ВЭПП-3.

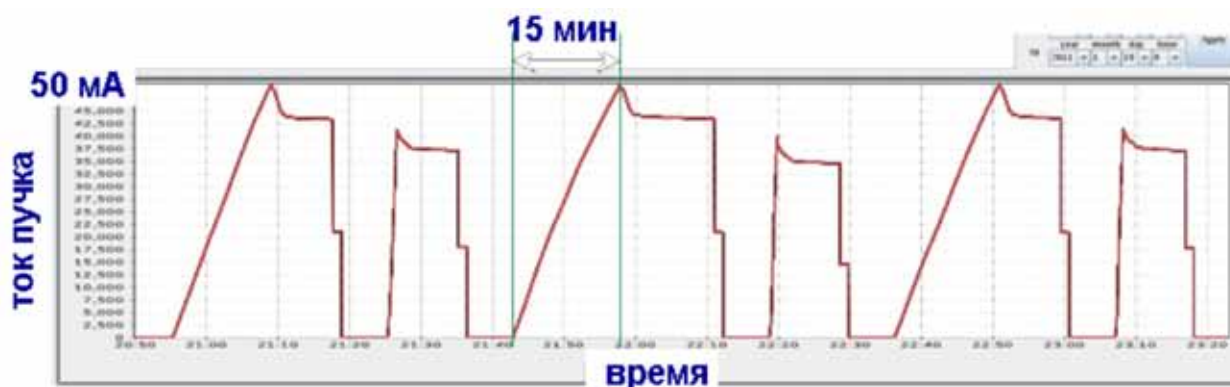


Рис. (5.2)6. Ток пучка ВЭПП-3 в зависимости от времени.

Заметный вклад в повышение надёжности установки внесло установление многоячеистого катода пушки источника электронов ЭЛИТ-3А и понижение накала пушек ЭЛИТ-3А и линейного ускорителя ЛУ программным образом в режимах без накопления пучка в ВЭПП-3. В результате:

- ЭЛИТ-3А работает уже два года без необходимости вскрытия;
- число пробоев при работе установки с энергией в импульсе 900 Дж снизилось примерно в 50 раз;
- установлен своеобразный рекорд по электрической прочности ускорителя ЭЛИТ-3А: 1 пробой на 1 000 000 импульсов.

Рис. (5.2)7 иллюстрирует работу комплекса в режиме эксперимента по физике высоких энергий, на верхнем графике изображена зависимость тока пучка ВЭПП-3 от времени, на нижнем графике – измеренная светимость электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-4М. Видно, что надёжная работа инжектора “Позитрон” и бустерного накопителя ВЭПП-3 позволяет достигать светимости выше  $150 \cdot 10^{28} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  на энергии ВЭПП-4М 1,8 ГэВ в долговременном режиме.

Работы по повышению надёжности установки продолжаются. Принимаются меры по улучшению принудительного охлаждения силовоточных импульсных генераторов, питающих мощный источник электронов ЭЛИТ-3А, магниты синхротрона Б-4 и канала транспортировки пучков, а также тиристорного отсека системы питания синхротрона Б-4. Модернизируется кондиционирование помещения импульсного питания установки «Позитрон» и система управления запусками слаботочных источников импульсного питания (выключение в режимах работы комплекса без накопления пучка в ВЭПП-3).



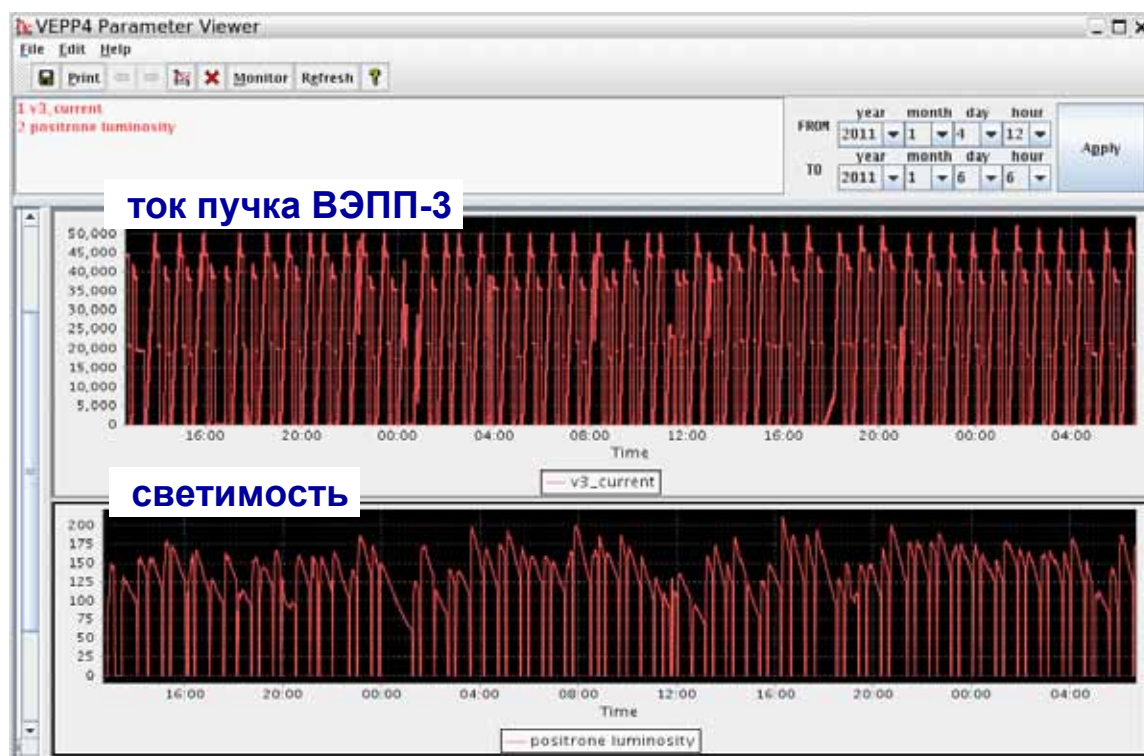


Рис.(5.2)7. Работа комплекса ВЭПП-4 в режиме эксперимента.

### 5.2.5 Система продольной обратной связи ВЭПП-4М

Для экспериментов по физике высоких энергий на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М реализован режим работы с двумя электронными и двумя позитронными сгустками, позволяющий значительно увеличить светимость. Побочным эффектом увеличения количества сгустков является возникновение неустойчивости продольного движения пучков, приводящей к фазовым колебаниям с большой амплитудой. Фазовые колебания приводят к резкому снижению светимости и времени жизни пучка. Более того, попадание частиц пучка на дрейфовую камеру детектора КЕДР может спровоцировать пробой высокого напряжения и повредить саму камеру. Причиной неустойчивости является резонансное возбуждение пучком высших мод колебаний ускоряющих резонаторов.

Для подавления высших мод в каждом из пяти резонаторов ВЭПП-4М предусмотрено по три управляемых механизма. Существуют области устойчивого движения пучка, соответствующие определенной настройке механизмов подавления высших мод. Однако при изменении температуры резонаторов происходит изменение его геометрических размеров, выводящее резонатор из области устойчивого движения пучка.

Для надежного подавления неустойчивости на ВЭПП-4М разработана и введена в эксплуатацию система продольной обратной связи (ОС). Блок-схема системы приведена на рис. (5.2).8, показан только один канал для одного типа частиц (электронов или позитронов). На рис. (5.2).9 приведены фотографии управляющей и силовой электроники слева и высокочастотного кикера справа. Поскольку в накопителе циркулируют две пары сгустков ( $e^+$  и  $e^-$ ), система ОС должна подавлять четыре связанных моды колебаний: две - для электронов и две - для позитронов. Вносимый в систему декремент затухания составляет около  $500 \text{ с}^{-1}$ , что примерно в 30 раз превышает декремент, получаемый за счет радиационных потерь.

Сигналы, пропорциональные продольной фазе каждого сгустка, получают на каждом обороте с помощью быстрого фазового детектора, подключенного к датчику пучка. Для регистрации сигналов используется схема выборки-хранения, выходные сигналы которой оцифровываются быстрым АЦП и записываются в оперативную память. Цифровая информация считывается из памяти и преобразуется 4-мя цифро-аналоговыми преобразователями в 4 аналоговых сигнала, каждый из



которых пропорционален мгновенной фазе соответствующего сгустка ( $2e^+$  и  $2e^-$ ). Суммарный

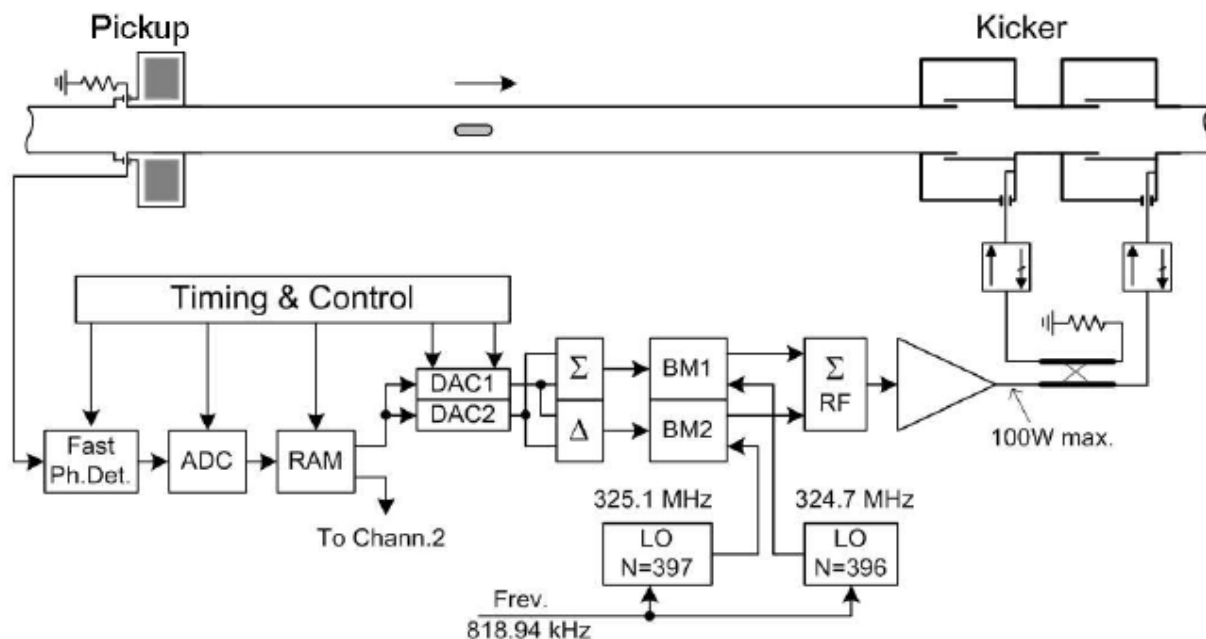


Рис.(5.2)8. Блок-схема системы продольной обратной связи ВЭПП-4М.

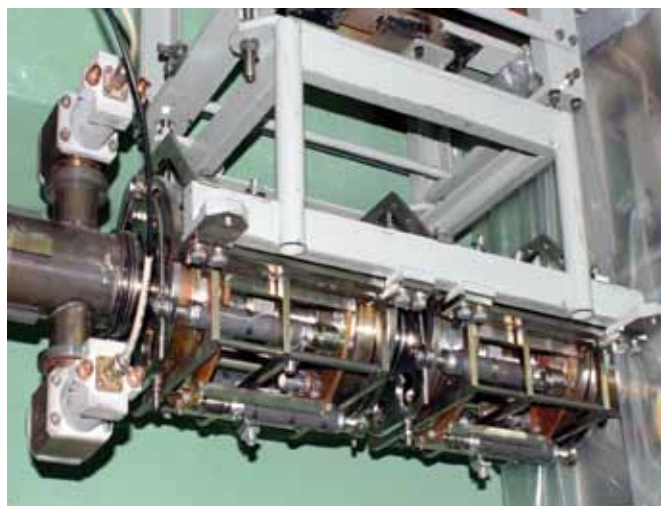


Рис.(5.2)9. Система продольной обратной связи ВЭПП-4М.

сигнал каждой пары соответствует синфазной моде колебаний, разностный сигнал – противофазной. Эти сигналы используются для модуляции ВЧ напряжения, подаваемого на кикер, с помощью двух балансных модуляторов. В схему встроены два генератора несущей частоты, один настроен на четную 398-ю гармонику частоты обращения для подавления синфазной моды, второй – на нечетную 397-ю гармонику для подавления противофазной моды. Выходные сигналы балансных модуляторов суммируются и подаются на усилитель мощности.

Два высокочастотных кикера используются в системе, один – для электронов, другой – для позитронов (рис. (5.2).9 справа). Каждый кикер состоит из пары резонаторов, собственная частота которых  $f_c = 325,5$  МГц находится посередине между 397-й и 398-й гармониками частоты обращения.

Расстояние между резонаторами каждой пары выбрано равным четверти длины волны – 230 мм. Частоты высших мод резонаторов кикера находятся выше критической частоты вакуумной камеры (2500 МГц), что минимизирует возможные проблемы с wake-полями. Выходная мощность ВЧ усилителя разделяется с помощью направленного ответвителя и подается на резонаторы через кабели равной длины. Резонаторы соединены так, что для частиц определенной полярности ( $e^+$  или  $e^-$ ), движущихся в своем направлении, фаза ВЧ напряжения во втором резонаторе сдвинута на  $\pi/2$  относительно фазы напряжения в первом резонаторе. Таким образом, частицы данной полярности получают двойной удар, в то время как на частицы, движущиеся в противоположном направлении, кикер практически не оказывает воздействия.

Практические испытания системы обратной связи были проведены с реальной многосгустковой неустойчивостью, специально возбужденной путем перестройки высших мод ускоряющих ВЧ резонаторов. В результате испытаний было установлено, что система обратной связи способна подавлять колебания с амплитудой, на порядок превышающей уровень, предельно допустимый для безопасной работы детектора КЕДР.

Система продольной обратной связи введена в регулярную эксплуатацию и используется для подавления фазовых колебаний в режиме эксперимента с детектором КЕДР.

## 5.2.6 Система контроля температуры

В новой системе контроля температуры используются датчики, измеряющие температуру охлаждающей воды, магнитов, стен тоннеля, воздуха в тоннеле, и датчики, блокирующие питание магнитов при перегреве. Система базируется на датчиках температуры повышенной точности.

В настоящее время на комплексе ВЭПП-4 установлено 283 измерительных и 206 блокировочных датчиков, управление датчиками и сбор данных осуществляется 25 контроллерами. Все измерения хранятся в базе данных комплекса ВЭПП-4. На рис. (5.3).10 показана фотография контроллера и датчика температуры.

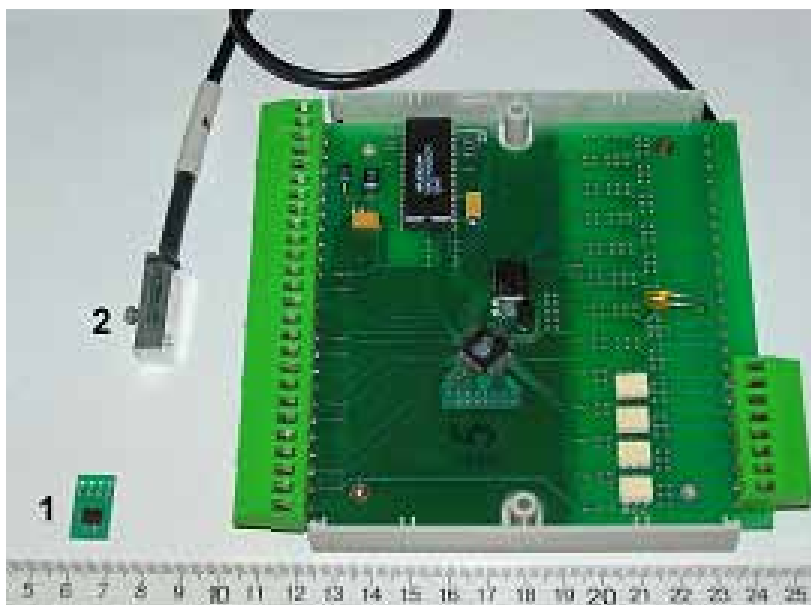


Рис.(5.2)10. Контроллер и датчик температуры.

В 2010 в экспериментальном промежутке ВЭПП-4М запущен в эксплуатацию фрагмент системы (6 контроллеров), отвечающий за отключение источников питания магнитов при перегреве.

Контроллеры, опрашивающие датчики температуры, могут иметь несколько управляемых реле. Каждому реле может быть назначена температура срабатывания и тип срабатывания – размыкание или замыкание подключенной электрической цепи. Каждому датчику температуры может быть назначено реле, которое переключится в противоположное состояние согласно заданному температурному порогу. В памяти контроллера хранятся текущие значения температур, обновляе-

мые раз в секунду, и параметры управления датчиками – пороговые значения температур и номера релейных контактов, которые замыкаются при выходе температуры из заданного диапазона.

Настройки, необходимые для работы контроллеров температуры хранятся в базе данных ВЭПП-4 и используются для работы программ системы термоконтроля.

В блокировке питания магнитов участвуют два реле каждого контроллера. Одно реле – для включения звуковой сигнализации при достижении первого порога температуры (задано 55°C) хотя бы на одном блокирующем датчике. Другое реле – для отключения соответствующей цепи питания магнитов при достижении второго температурного порога (задано 60°C) хотя бы на одном блокирующем датчике.

Температурные измерения записываются в базу данных каждые 5 секунд. Последние значения температуры отражаются в порядке убывания на мониторе. Предусмотрена цветовая маркировка: жёлтым – предупредительный порог температуры, красным – одновременно со звуковой сигнализацией, красным мигающим – при срабатывании реле, отключающего питание (звуковая сигнализация продолжается).

При необходимости дежурный оператор может отключить звуковую сигнализацию. По мере остывания перегретого магнита каждое реле возвращается в исходное состояние, а питание соответствующей группы магнитов включается вручную.

### 5.3 Инжекционный комплекс ВЭПП-5

В 2010 году активно продолжались работы на Инжекционном Комплексе (ИК) ВЭПП-5. Данный комплекс способен одновременно и с запасом обеспечить электронами и позитронами действующие в ИЯФ электрон-позитронные коллайдеры ВЭПП-2000 и ВЭПП-4М и будущую Чарм-Тау Фабрику. Работа этих больших установок необходима для выполнения основной программы исследований института по физике высоких энергий.

Инжекционный комплекс ВЭПП-5 не имеет аналогов в России и сравним с лучшими мировыми образцами такой техники. Более того, отдельные узлы и подсистемы комплекса имеют рекордные параметры и не имеют аналогов в мире.

В текущем году завершено создание линейного ускорителя позитронов ИК ВЭПП-5, являвшегося последним недостающим элементом в составе нового инжекционного комплекса. Заключительный 4-й модуль, состоящий из 4-х секций, собран, откачан до рабочего вакуума и готовится к тренировке и настройке в составе форинжектора ИК.



Рис.(5.3)1. Линейный ускоритель позитронов Инжекционного комплекса ВЭПП-5.



В этом же году получен и собран последний пятый клистрон (см. рис. (5.3)2) для клистронной галереи форинжектора ИК, ведутся работы по его запуску.

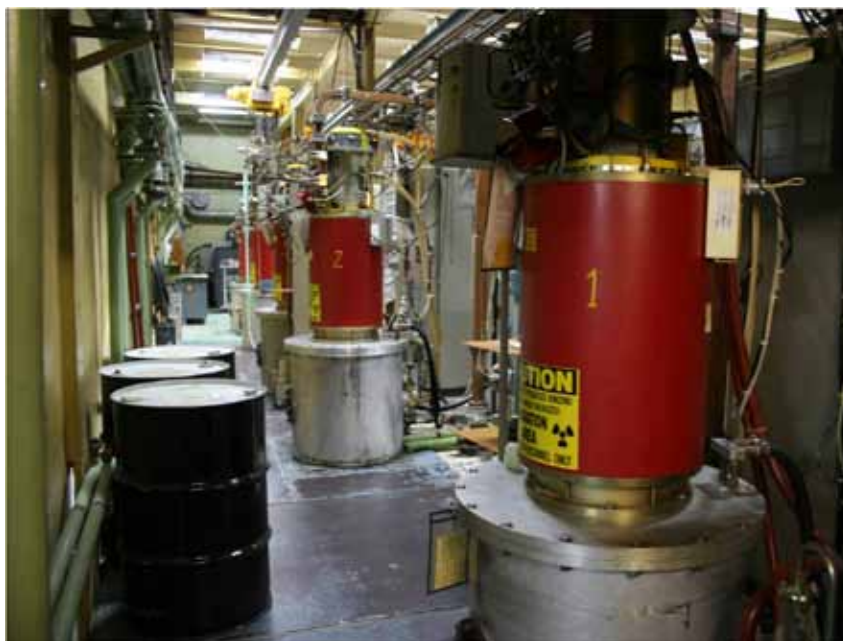


Рис.(5.3)2. Клистронная галерея форинжектора ИК со всеми клистроном.

В рамках работ по совершенствованию элементов и недостающим частям ИК осуществлены следующие работы:

1. Задающий генератор ИК перенесен в радиопульттовую из клистронной галереи.
2. Подготовлена к работе система впуска-выпуска позитронов на накопителе – охладителе.
3. Закончен монтаж кабельных трасс и контура заземления каналов ИК.
4. Смонтирована канализация каналов ИК.
5. Смонтирована пожарно-охранная сигнализация каналов ИК.
6. Монтаж реверсивных ИСТов для канала спуска ИК.
7. Установлены стойки импульсного питания каналов ИК.
8. Установлены стойки питания вакуумных насосов каналов ИК и НО ВЭПП-5.
9. Смонтирована система охлаждения элементов канала спуска ИК.



Рис.(5.3)3. Задающий генератор в радиопульттовой ИК.



Рис.(5.3)4. Система впуска-выпуска позитронов установлена и подготовлена к работе.



Рис.(5.3)5. Общий вид канала на ВЭПП – 2000 с магнитными элементами, кабельными трассами и заземлением.



Рис.(5.3)6. Элементы канала на ВЭПП – 3 с контуром системы охлаждения.



Рис.(5.3)7. Элементы системы пожарной сигнализации в канале ИК.



Рис.(5.3)8. Лотки кабельных трасс и контур заземления в канале ИК.





Рис.(5.3)9. Новая стойка питания магнитоэлектронных насосов каналов ИК.



Рис.(5.3)10. Реверсивные ИСТы для спуска в канал ИК.



Рис.(5.3)11. Стойки импульсного питания для элементов канала ИК.

## 5.4 Линейный индукционный ускоритель ЛИУ – 2

В рамках договора на проведение ОКР с РГК РФЯЦ-ВНИИТФ был создан, испытан и передан заказчику линейный индукционный ускоритель ЛИУ-2. Перед отправкой заказчику были проведены испытания ЛИУ-2 в ИЯФ СО РАН.

Испытания Инжектора были проведены в октябре 2010 года. Комиссии был представлен Инжектор (линейный индукционный ускоритель ЛИУ-2), укомплектованный всеми функциональными узлами и системой управления (фотографии установки приведены на рисунках (5.4).1 – (5.4).6). Узлы Инжектора и рабочая документация были проверены на соответствие требованиям ПУЭ, ПТЭЭП и МПОТЭЭ.

В процессе испытаний было проведено 20 настроечных и 10 рабочих запусков ЛИУ-2 с выдчей гамма-импульса. В каждом импульсе регистрировались: энергия ускоренных электронов, ток электронов в импульсе, длительность импульса тока электронного пучка, диаметр электронного пучка на мишени, просвечивающая способность. Результаты испытаний приведены в таблице (5.4).1.

Таблица (5.4).1. Основные параметры ЛИУ-2.

Параметр	Величина по ТЗ	Результат измерений
Энергия ускоренных электронов, МэВ	2	1,9
Ток электронов в импульсе, кА <sup>1</sup>	2	2
Длительность импульса тока электронного пучка, нс	200	180
Диаметр электронного пучка на мишени, мм <sup>2</sup>	1 ÷ 2	1,8
Просвечивающая способность на расстоянии 1 м от мишени, мм Pb <sup>3</sup>	-	~ 90

<sup>1</sup> – Измерения тока электронов и длительности импульса тока проводились трансформатором тока на основе аморфного железа. Типичная осциллограмма тока электронов приведена на рисунке (5.4).4;

<sup>2</sup> – Диаметр электронного пучка на мишени определялся диаметром отверстия в танталовой мишени. Фотография мишени приведена на рисунке (5.4).5;

<sup>3</sup> – Просвечивающая способность в ТЗ не оговаривалась, приведена для справки.

Испытания показали работоспособность установки. Результаты измерения основных параметров установки в целом соответствуют требованиям ТЗ.



Рис.(5.4).1. Система питания ЛИУ-2.



Рис.(5.4)2. Мишенный узел и ускоряющая часть (вид спереди).



Рис.(5.4)3. Ускоряющая часть (вид сзади).



После проведения испытаний установка была демонтирована, перевезена из ИЯФ в РФЯЦ-ВНИИТФ в декабре 2010 года была собрана на территории Заказчика (см. рис. (5.4)б). Физический запуск установки, настройка ее параметров и обучение персонала Заказчика будут проведены в 2011 году.

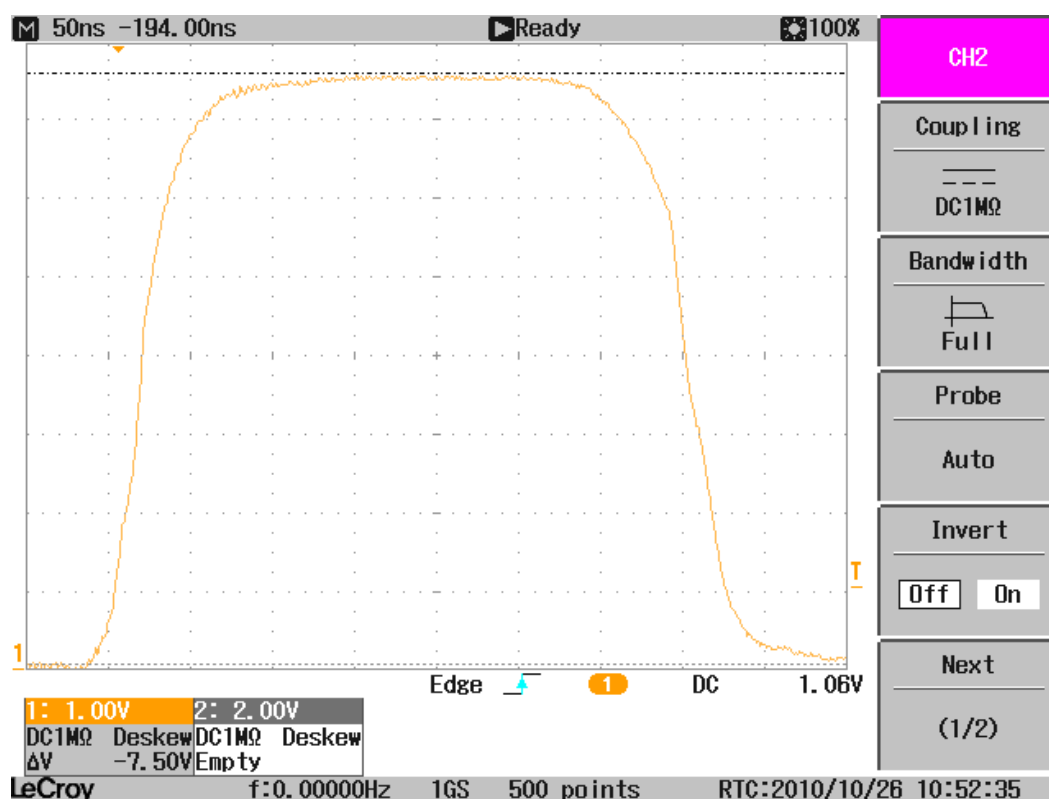


Рис.(5.4)4. Осциллограмма импульса тока.

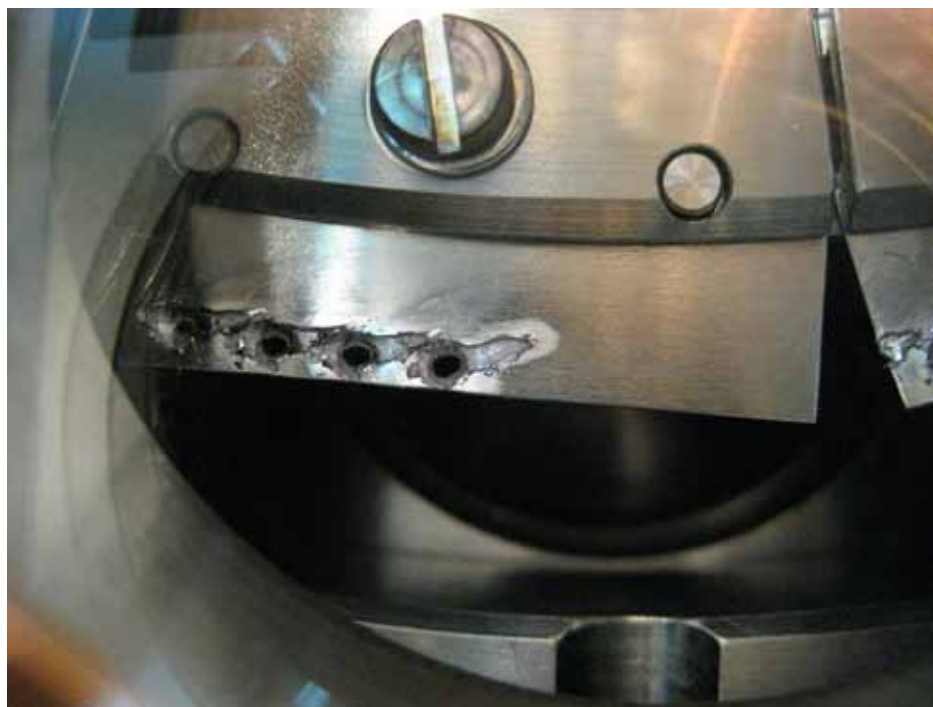


Рис.(5.4)5. Мишень ЛИУ – 2 с отверстиями от электронного пучка.

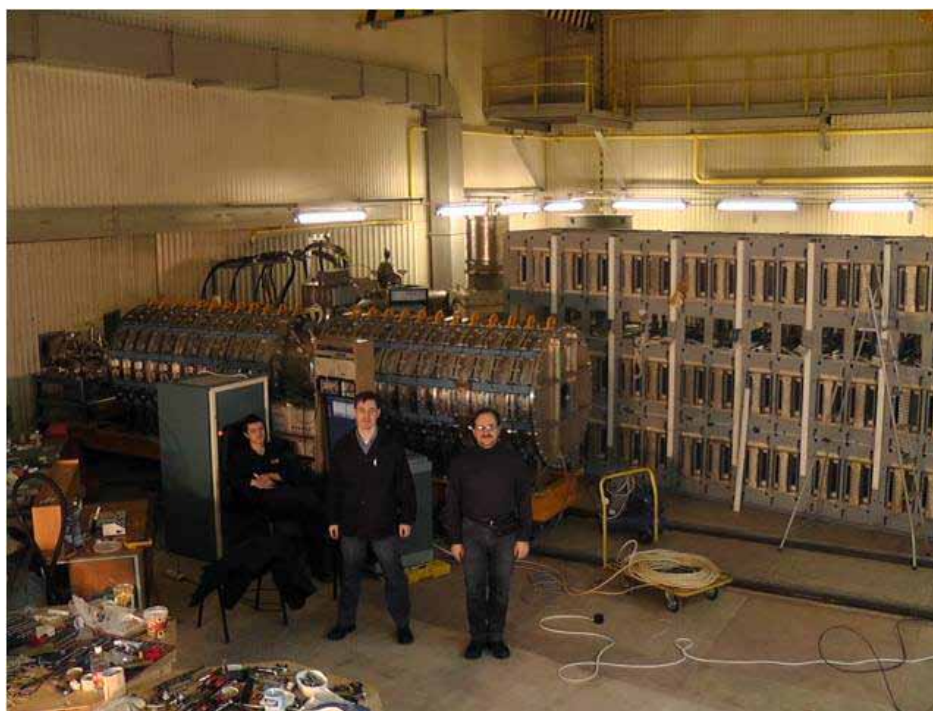


Рис.(5.4)6. Сборка ЛИУ-2 в Снежинске.

## 5.5 Электронно-лучевая сварка

Энергоблоки для установок электронно-лучевой сварки, разработанные и изготовленные в нашем Институте по контрактам с Научно-исследовательским технологическим институтом «Прогресс» г. Ижевск, в настоящее время смонтированы в составе технологического оборудования на шести предприятиях России. Те из этих установок, которые включены в действующие технологические процессы, успешно эксплуатируются.

Энергоблок может применяться в составе установок, работающих в области электронно-лучевых технологий. В первую очередь в случае остро фокусированного электронного луча – для сварки и резки металлов и их сплавов, включая тугоплавкие. На площади остро фокусированного пятна электронного луча может концентрироваться мощность более 100 кВт/мм<sup>2</sup>. В случае не остро фокусированного луча возможно его применение для прогрева материалов до высоких температур и плавки, в том числе толстых слоёв, нанесённых на подложки.

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

Таблица (5.5) 1. Основные технические характеристики.

Максимальная мощность электронного луча	30 кВт
Ускоряющее напряжение	60 кВ
Диапазон изменения тока электронного луча	0,5 – 500 мА
Нестабильность ускоряющего напряжения, не более	± 0,5%
Нестабильность тока луча, не более	± 2 %
Параллельный перенос луча	имеется
Энергия, запасаемая в реактивных элементах высоковольтного тракта, менее	10 Дж
Максимальная потребляемая мощность, не более	36 кВА
Вес, не более	1200 кг



Исходя из опыта эксплуатации энергоблока и потребностей заказчиков, для улучшения надёжности и повышения ресурса катода в этом году проведена модернизация электронной пушки и системы магнитной оптики энергоблока:

- лучепровод изготовлен полностью металлическим, то есть устранены резиновые уплотнения;
- увеличена апертура лучепровода;
- для увеличения электрической прочности изменена геометрия анода и управляющего электрода;
- спроектирован и изготовлен новый катодный узел с косвенным подогревом катода электронной бомбардировкой (смотри рисунок (5.5)1).

Также проведена модификация ещё одного энергоблока для НИТИ «Прогресс» (смотри рисунок (5.5)2).



Рис.(5.5)1. Электронно-оптическая колонна с косвенным подогревом катода электронной бомбардировкой на экспериментальном объёме.



Рис.(5.5)2. Электронно-оптическая колонна, модернизированная для НИТИ «Прогресс» на экспериментальном объёме.

Энергоблок экспонировался на XIII Международной всесибирской промышленной выставке «МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛООБРАБОТКА. СВАРКА. МЕТАЛЛУРГИЯ – 2010», проведённой в городе Новосибирске в марте 2010 года и удостоен Малой Золотой Медали.

Летом 2010 года были проведены эксперименты с моделью защитного окна с применением энергоблока.



Рис.(5.5)3. Благодарственное письмо и диплом выставки.



Рис.(5.5)4. Сварочная пушка в составе стенда для испытаний защитного окна с жидким свинцом.

Начаты работы по разработке и изготовлению сварочного комплекса с применением энергоблока в рамках проекта МНТЦ «Разработка вакуумной системы и технологии её производства для электрон-позитронных коллайдеров высокой интенсивности». В настоящее время планируется модернизация установки на встречных электрон-позитронных пучках (КЕКВ, Япония) с увеличением светимости на несколько порядков, при этом многократно возрастает мощность синхротронного излучения; тепловые нагрузки будут гораздо выше существующих. К новым проблемам

добавятся импеданс вакуумной системы в результате возросших токов, а также возросшая эмиссия вторичных электронов и фотоэлектронов, которая будет приводить к неустойчивости пучков. В данном проекте планируется разработка вакуумной системы и технологии её производства для установок на встречных электрон-позитронных пучках высокой интенсивности с учетом выше перечисленных особенностей.



Рис.(5.5)5. Вакуумная камера сварочной установки, разрабатываемой по тематике МНТЦ «Разработка вакуумной системы и технологии её производства для электрон-позитронных коллайдеров высокой интенсивности».

## 5.6 Разработка и выпуск катодов для электронных пушек

В 2010 году группа сотрудников продолжила работы по разработке и выпуску катодных узлов как для физических установок, работающих в ИЯФе, так и для наших зарубежных партнеров.

По контракту с Брукгейвской Национальной Лабораторией, США, были изготовлены катодные узлы для уже существующего источника высокозарядных ионов EBIS RHIC, а также проектируемой электронной линзы RHIC. В этих катодных узлах в качестве эмиттеров используется гексаборид лантана ( $LaB_6$ ) и сплав иридий-церия ( $IrCe$ ). Ниже приведены их фотографии.

Был заключен контракт с Аргонской Национальной Лабораторией, США, на изготовление электронных пушек для EBIS CARIBU, США, для строящейся установки по получению высокозарядных радиоактивных ионов. Были проведены предварительные расчеты электронно-оптической системы и приняты конструктивные решения.





Рис.(5.6)1. Общий вид катодных узлов.

Было изготовлено около 150 катодных узлов с катодами из гексаборида лантана диаметром 10 мм для промышленных ускорителей типа ЭЛВ. На рисунке (5.6)2 приведены накаливные характеристики и зависимости яркостной температуры катодов от подведенной мощности для Ø 6 мм и Ø 10 мм. Ресурс работы таких катодов достигает 10 тысяч часов и зависит от вакуумных условий в ускорительной трубке. Катоды допускают до 30 тысяч мгновенных включений.

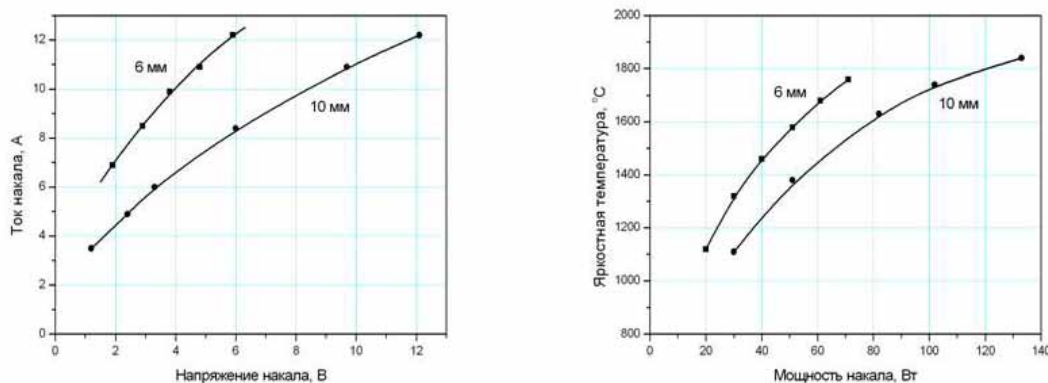


Рис.(5.6)2. Накаливные характеристики и яркостная температура катодов типа ЭЛВ.

Выпускались катодные узлы с катодом из гексаборида лантана диаметром 17 и 20 мм для различных целей с двумя типами подогревателей: из вольфрамовой проволоки диаметром 0.8 и 1 мм, с плоскими и сферическими катодами. Основная часть этих катодов используется в высокочастотных промышленных ускорителях типа ИЛУ. Характеристики катодов из  $\text{LaB}_6$  диаметром 20 мм с подогревателем из вольфрамовой проволоки диаметром 1 мм представлены на рисунке (5.6)3. Ресурс катодов при плотности тока с катода  $5 \text{ A/cm}^2$  достигает 10000 часов.

Разработан и успешно испытан в линейном индукционном ускорителе ЛИУ-2 катодный узел, представленный на фото (5.6)4. Он имеет диаметр диспенсерного катода 180 мм. Эмитирующая часть сделана в НПО «Торий», город Москва. Подогреватель катода изготовлен из танталовой ленты, укрепленной на изоляторах внутри камеры нагревателя катода. Он позволяет иметь однородность температуры поверхности катода менее 5 градусов. На рисунке (5.6)5 приведены накаливная и температурная характеристики катода. Эмиссия катода соответствует лучшим образцам диспенсерных катодов. Испытания катода показали, что в вакуумном объеме ускорителя ЛИУ-2 эмиссия катода выше из-за лучшего вакуума по сравнению с камерой стенда:  $10^{-9}$  торр в ЛИУ-2 и  $10^{-8}$  торр на стенде при холодном катоде.

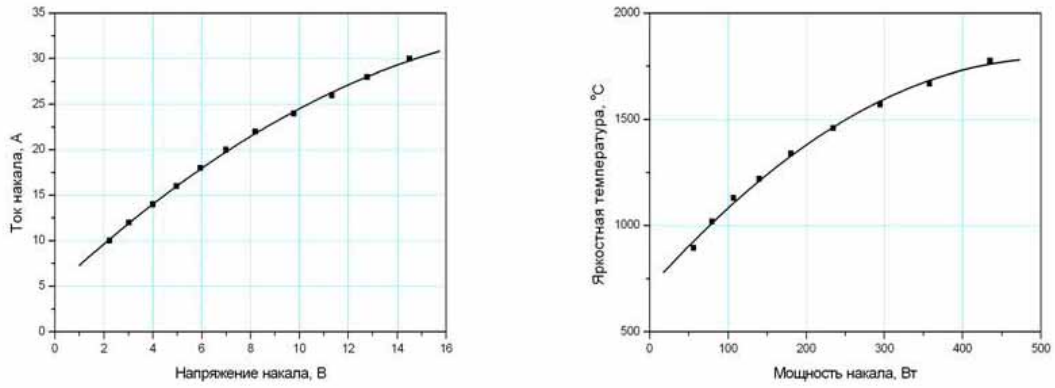


Рис.(5.6)3. Накальные характеристики и яркостная температура катодов типа ИЛУ.



Рис.(5.6)4. Общий вид катодного узла ускорителя ЛИУ – 2 на тестовом фланце.

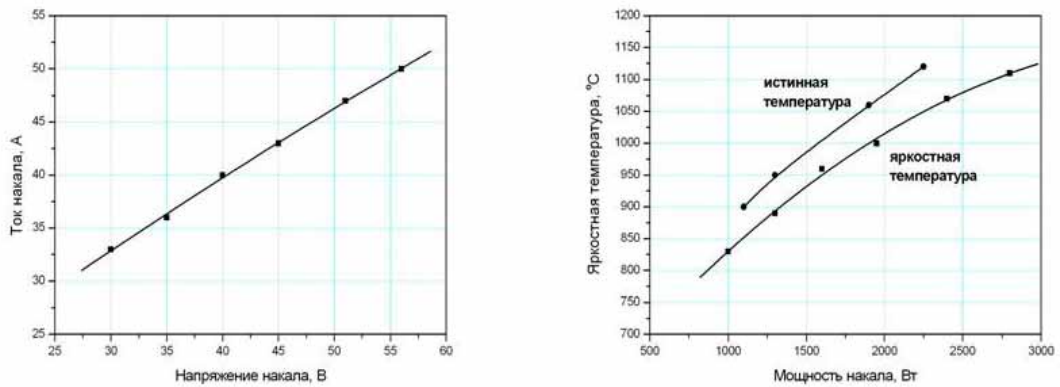


Рис.(5.6)5. Накальная характеристика и яркостная температура катода ускорителя ЛИУ-2.



## 5.7 Работы по созданию электронного охлаждения с энергией пучка до 2 МэВ

В 2010 году в Институте продолжались работы по проектированию и изготовлению электронного охладителя для накопителя COSY. Разработка и создание нового электронного охладителя для немецкого ускорительного комплекса COSY вступило в активную фазу. Были разработаны новые научные и технологические решения для получения высокой скорости охлаждения протонного пучка, взаимодействующего с внутренней мишенью. К концу года основные элементы были разработаны и изготовлены. Началась их активная сборка и проверка. Создание установки должно быть завершено в 2011 году.



Рис.(5.7)1. Начало монтажа охладителя в зале для испытаний.

Для получения высокого качества магнитного поля в секции охлаждения электронного охладителя предложено использовать датчик магнитного поля, расположенный в вакуумной камере ускорителя. С этой целью был изготовлен прототип датчика на основе конструкции компаса, помещенного в карданный подвес. Для повышения стабильности измерений после прогрева вакуумной камеры стрелка компаса выполнена из магнито-мягкого материала, что снижает чувствительность прибора к температуре по сравнению с конструкцией, использующей постоянные магниты на основе неодим-железо-бор. Первые эксперименты на стенде показали достаточную чувствительность компаса в поле 100 Гс, но выявили недостаточную повторяемость измерений, связанную с недостаточной точностью изготовления карданного подвеса.

Для передачи мощности высоковольтным секциям ускорительной колонны в лаборатории была разработана конструкция каскадного трансформатора и изготовлен его прототип из 3 секций.



Рис.(5.7)2. Секция трансформатора на испытаниях.

## 5.8 Работы по ускорительному масс спектрометру

На созданном в ИЯФ ускорительном масс-спектрометре, получены следующие результаты:

- получен устойчивый режим работы ускорительного масс спектрометра при напряжении ускорителя 1 МВ;
- получен пучок трёх зарядных ионов углерода с током 2 мкА и энергией 4 МэВ;
- продемонстрировано 1%-ое совпадение измеренных концентраций радиоуглерода в пресованных нитях из углеродной ткани (современный образец). Концентрация радиоуглерода в графите МПГ (мертвый образец) составляет около 1% от современного уровня;
- продемонстрирован автоматизированный процесс измерения концентрации радиоуглерода в образцах при полной загрузке барабана с образцами (23 штуки);
- проведены первые измерения содержания радиоуглерода в годовых кольцах дерева из Академгородка. Концентрации радиоактивного углерода соответствуют общемировым значениям как показано на рисунке (5.8)1.

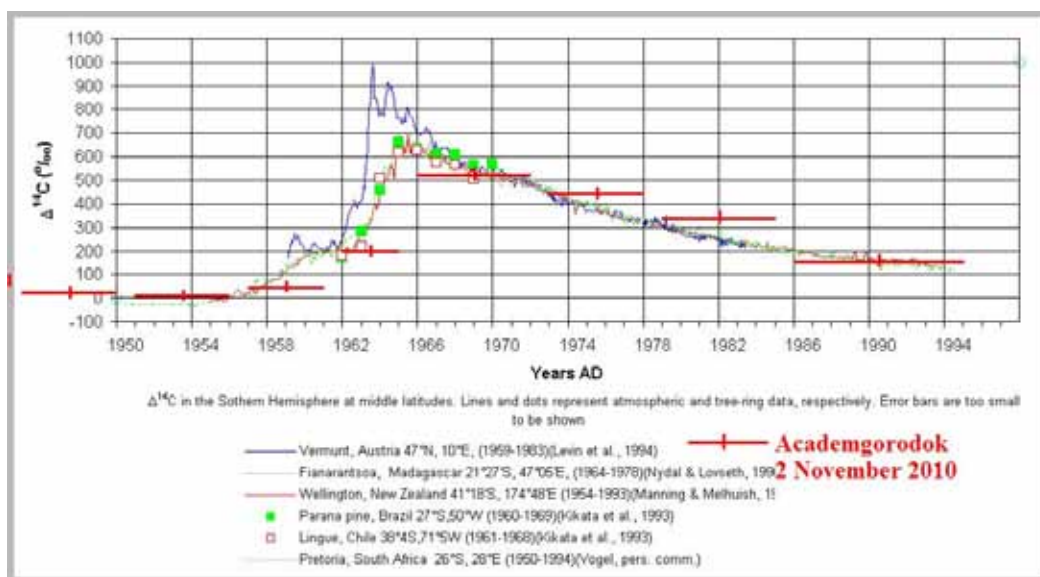


Рис.(5.8)1. Измеренная концентрации радиоуглерода в кольцах дерева. Каждый образец изготавливался из нескольких годовых колец ( ширина линии на рисунке) в ЦКП «Геохронология кайнозоя».

## 5.9 Работы по развитию адронной терапии рака

В течение 2010 года в ИЯФ продолжались работы, связанные с развитием адронной терапии рака. Закончен цикл работ с прототипом тандемного ускорителя, получен ток ионов углерода до 3 мкА, при номинальном напряжении на высоковольтном терминале 1,25 МВ. Собран прототип дипольного магнита бустерного синхротрона с системой измерения, начаты магнитные измерения для определения формы переходной области и краевой фаски. На измерительном стенде, включающем прототипы вакуумной камеры основного синхротрона и откачного порта, с установленным пикапом достигнут вакуум  $2 \cdot 10^{-10}$  Торр. Изготовлены прототипы электростатических септумов, впускного для бустера и выпускного для основного синхротрона.

Для ПИЯФ им. Константинова выполнена опытно-конструкторская работа «Разработка физического проекта ускорительного комплекса для медицинской терапии на основе синхротрона С-230».

Заключен контракт на изготовление дипольных магнитов для синхротрона ускорительного комплекса для ионной терапии рака MedAustron, Австрия.

## 5.10 Вакуумные системы

### 5.10.1 Высоковакуумное оптическое окно инфракрасного диапазона

В 2010 году в ИЯФ продолжена разработка технологии пайки кристаллических окон для инфракрасного диапазона.

Поликристалл SeZn был припаян к титановому кольцу свинцовым припоем (см. рис.(5.10)1). Преимуществом данного типа окна по сравнению с GaAs окном (разработка 2009 года) является более широкий спектральный диапазон  $0,45 \div 20$  мкм, что позволяет использовать это окно и в видимом диапазоне. Спектр пропускания окна приведен на рисунке (5.10)2.

Установка для измерения энергии пучка методом обратного комптоновского рассеяния луча  $\text{CO}_2$  лазера на релятивистских частицах в ускорительном комплексе ВЕРС-II (ИИЭР, Beijing) работала в течение 2010 года. Спектр остаточного газа приведен на рисунке (5.10)3. Давление в вакуумной камере установки для измерения на комплексе около  $P=1 \times 10^{-10}$  тор. За этот период помутнение медного зеркала не обнаружено.

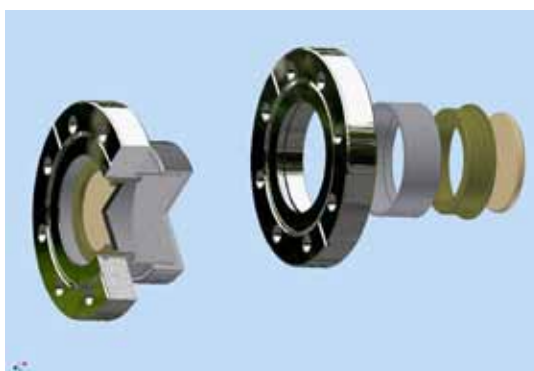


Рис.(5.10)1. Конструкция высоковакуумного окна из SeZn.

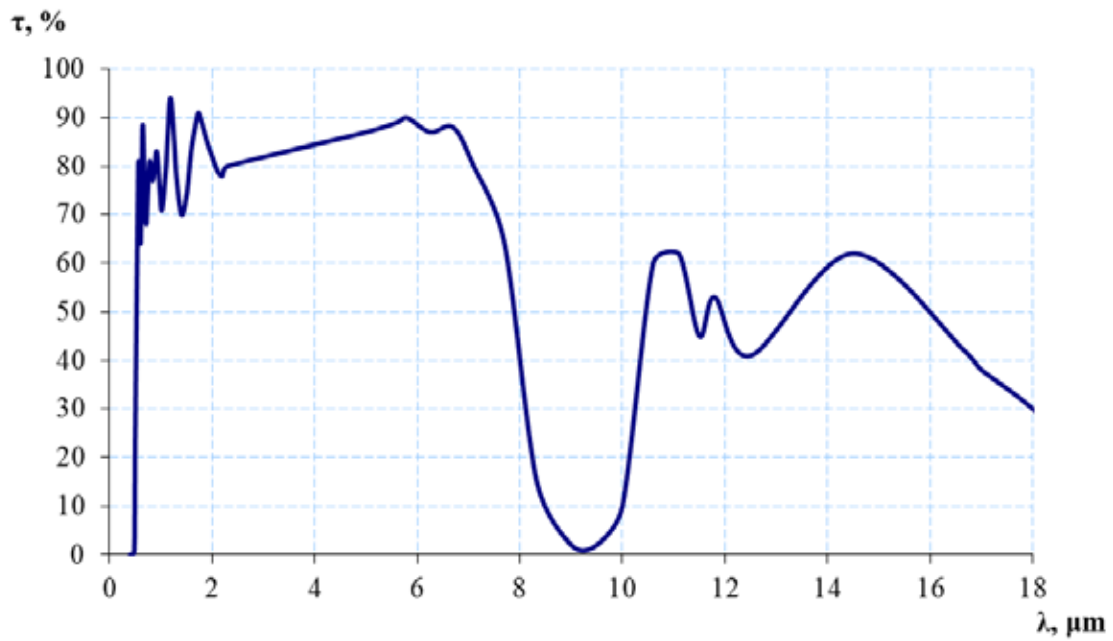


Рис.(5.10)2. Спектр пропускания окна ZnSe, с двусторонней объемной пленкой SiO<sub>2</sub> толщиной 0,6 мкм.

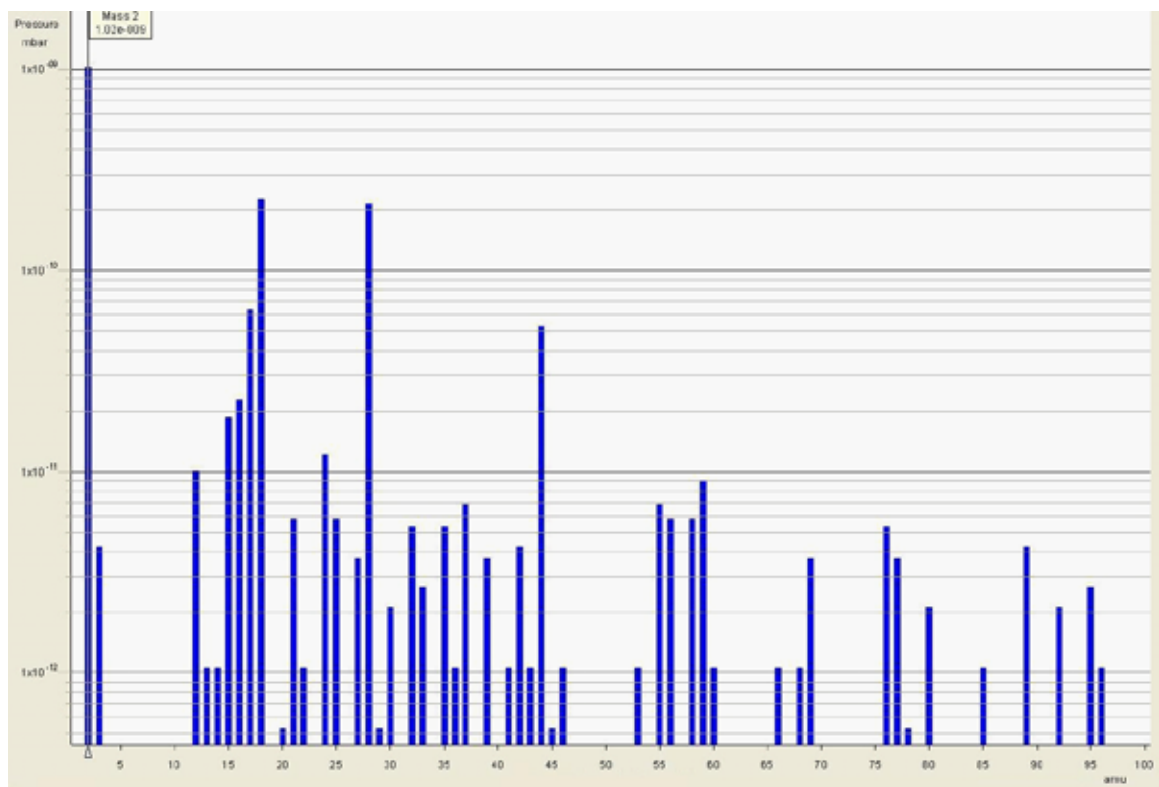


Рис.(5.10)3. Спектр остаточного газа в вакуумной камере с окном GaAs в ускорительном комплексе ВЕРС-II.

Работа частично подержана грантами РФФИ 08-02-00328-а, 08-02-00251-а, РФФИ-ГФЕН-08-02-92200-а, проектом фундаментальных исследований СО РАН N32 выполняемых совместно с АН КНР.

### 5.10.2 Криогенное оборудование для испытаний ускоряющих модулей XFEL (DESY)

В 2010 году в ИЯФ проводилось проектирование криогенного оборудования испытательного стенда ХАТВ (XFEL AMTF Test Bench).

Рабочие характеристики ускоряющих модулей будут испытаны на испытательных стендах. Тесты включают испытания криогенных рабочих характеристик и испытания рабочих характеристик резонаторов. Криогенные тесты включают интегральную проверку герметичности всех вакуумных систем, криогенных трубопроводов и тоководов, испытания приборов и измерения статической тепловой нагрузки при различных температурах.

Во время тестов рабочих характеристик резонаторов модуля при 1,9 К будут оцениваться максимальное ускоряющее поле резонаторов и соответствующая добротность  $Q_0$  без нагрузки, а также рентгеновское излучение и соответствующие темновые токи. Добротность будет контролироваться с помощью криогенных измерений динамических тепловых нагрузок.

В общей сложности, около 100 модулей должны быть проверены в течение двух лет.

Испытания полностью собранного резонатора при высокой энергии должны быть проведены при 1,9 К с тем, чтобы оценить эффективность работы резонатора, включая все его характеристики, такие как: основная энергия ВЧ согласования, добротность, подстройки и испытания объема для LHe. Условия испытания идентичны условиям эксплуатации в ускорителе, за исключением параметров электронного пучка. Испытания при высокой энергии будут осуществляться в горизонтальных криостат-адаптерах, которые будут подключены к криогенной системе снабжения одного стенда.

Каждый испытательный стенд для испытания ускоряющих модулей состоит из испытательного стенда и трубопровода, соединяющего испытательный стенд с распределительным боксом. Каждый испытательный стенд будет окружен бетонным экранированием и покрыт защитной крышей с тем, чтобы установить радиационную безопасность во всех частях испытательного здания AMTF (Accelerator Module Test Facility). Модуль, или соответственно, горизонтальный криостат-адаптер, имеет возможность перемещаться вместе с платформой в зал монтажа/испытаний и обратно в общий зал испытательного здания.

Основной трубопровод, соединяющий стенд с распределительным боксом, поставляет гелий для 4,5 К и 40 К схем.

Особенностью распределительного бокса стенда является использование двух теплообменников: субкулера и противоточного теплообменника. 1,9 К гелий получается при помощи вентиля Джоуля-Томпсона с последующей откачкой до давления  $P=31$  мбар.

Для управления потоками различной температуры одного стенда используются 13 холодных пневматических вентилях, в том числе и 3 вентиля Джоуля-Томпсона, и 11 теплых пневматических вентилях.

Для измерений динамических тепловых нагрузок одного стенда предполагается использовать 12 датчиков давления; 29 низкотемпературных датчиков ТВО для диапазонов 1,5 ÷ 300 К; 4 ÷ 300 К и 40 ÷ 300 К и 7 платиновых низкотемпературных датчика типа Pt1000 для диапазона 40 ÷ 300 К; 3 расходомера Кориолиса.

Вертикальные стойки платформы и фиксированной подставки выдерживают нагрузку около 100 кН при рабочем режиме на сжатие и около 120 кН на разрыв в случае аварии.



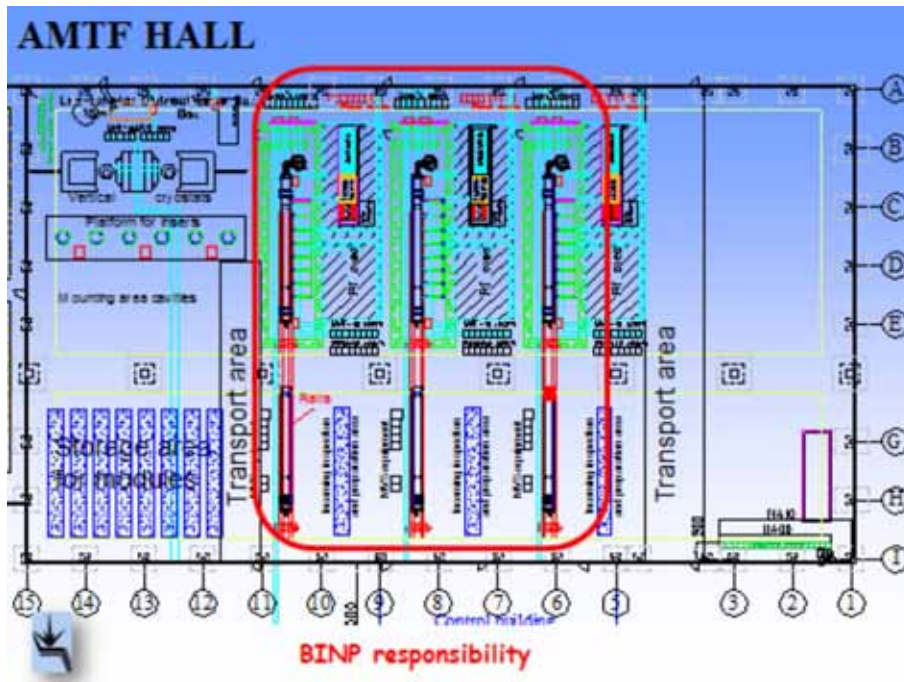


Рис.(5.10)4. Зал АМТФ и зона оборудования ИЯФ.

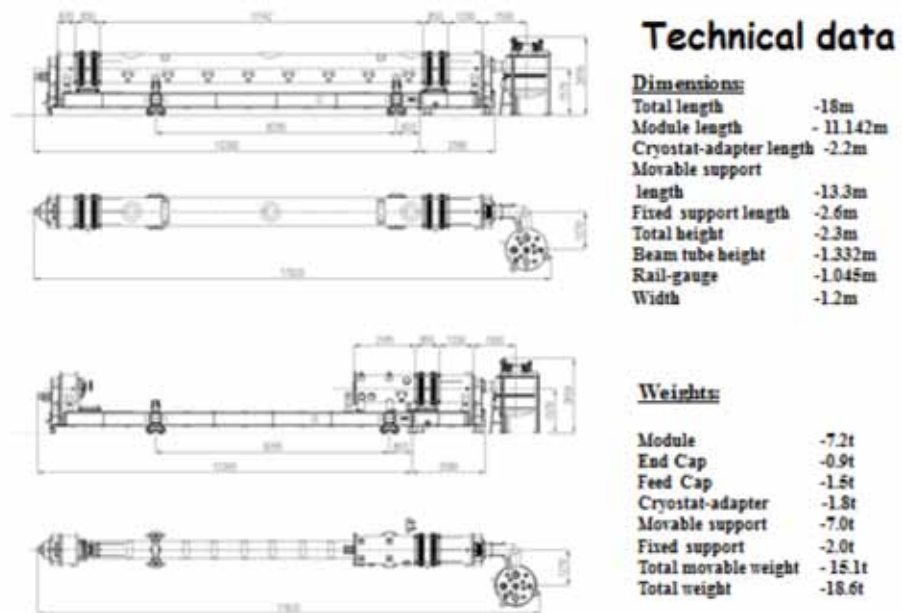


Рис.(5.10)5. Технические данные оборудования ИЯФ.



Рис.(5.10)6. Концевой узел.

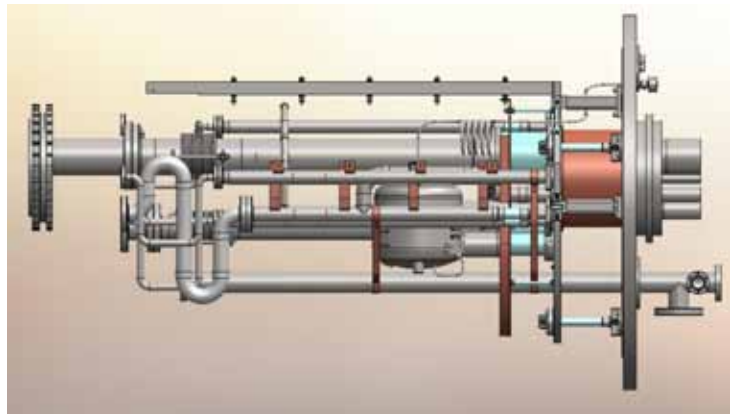


Рис.(5.10)7. Холодная часть распределительного узла.

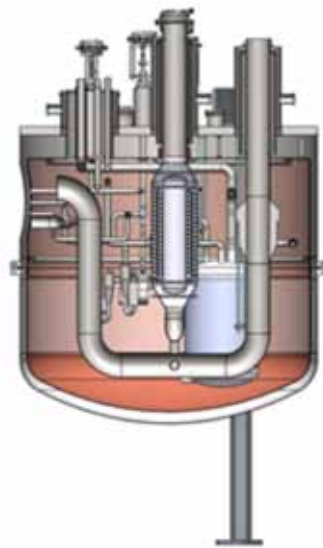


Рис.(5.10)8. Сечение распределительного бокса с двумя теплообменниками.

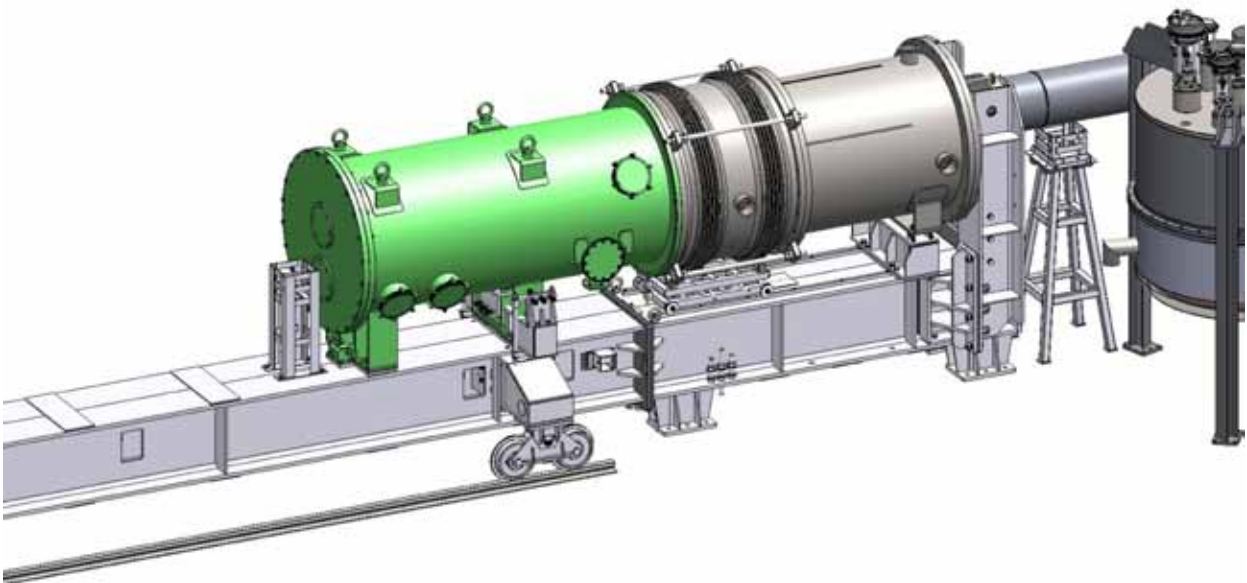


Рис.(5.10)9. Испытание отдельного резонатора с криостатом-адаптером.

### 5.10.3 Вакуумная система бустера NSLS-II

Бустер для NSLS-II обеспечивает накопление сгустков электронов энергией 200 МэВ подъем энергии пучка до 3 ГэВ. Суммарный заряд около 10 нКл, что соответствует среднему току пучка 20 мА. Периметр бустера 158,4 метров. Давление остаточного газа после накопления интеграла тока порядка 1 А·ч должно быть не хуже  $10^{-7}$  Торр. Обеспечение вакуума осуществляется при помощи магниторазрядных насосов (всего насосов 70 штук) фирмы Gamma Vacuum со скоростью откачки 45 л/с, расположенных, в среднем, на расстоянии 2,3 метра друг от друга.

Расчеты показали, что, несмотря на импульсный режим работы бустера (скважность по интенсивности синхротронного излучения составляет 1/7 при частоте повторения 2 Гц), десорбция газа под действием СИ будет превосходить термическую десорбцию. На Рис.(5.10)10 показан пример расчета для одного из прямолинейных промежутков.

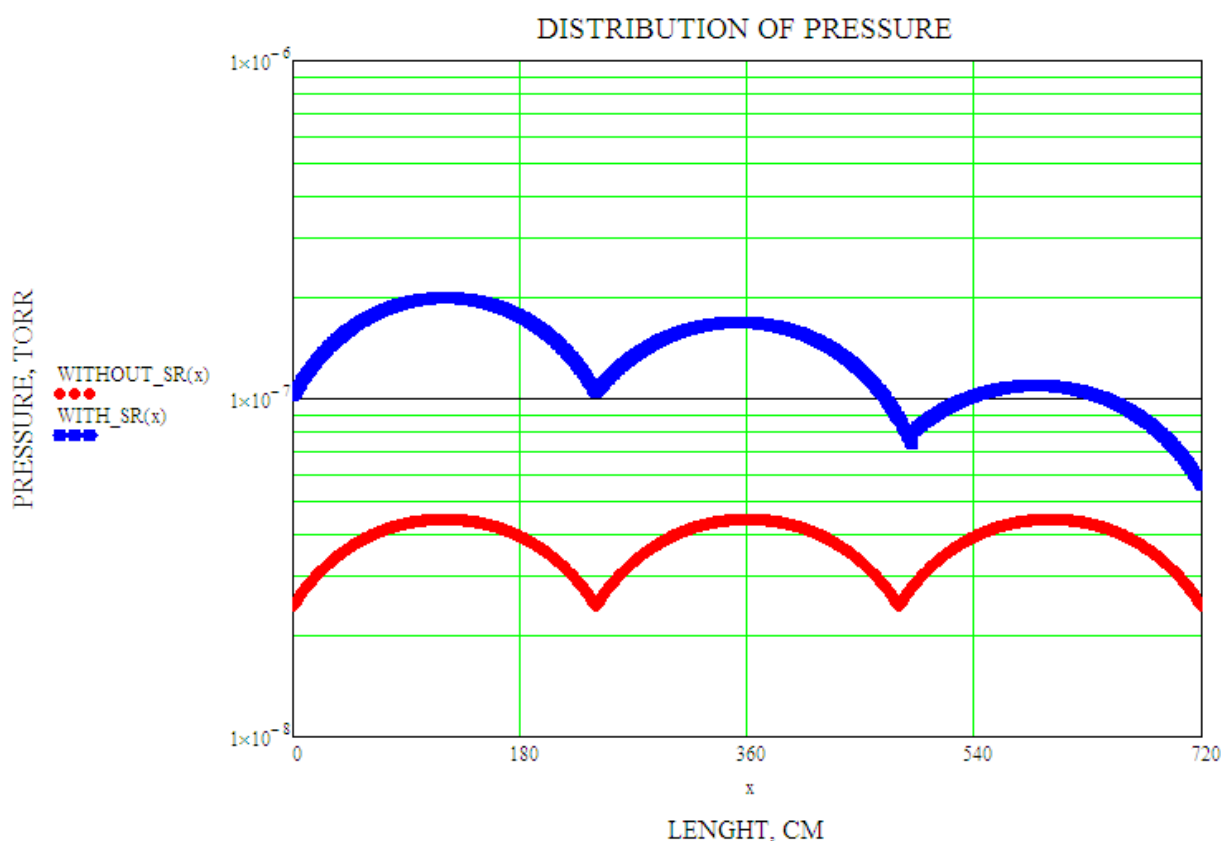


Рис.(5.10)10. Распределение давлений в прямолинейном промежутке.

Одним из важных параметров вакуумной камеры является ее устойчивость различным внешним факторам, таким как атмосферное давление.

Из-за относительно малой мощности СИ (максимальная мощность равняется 44 Вт/м в поворотных VD магнитах) в специальных приемниках излучения нет необходимости. Однако такое излучение может привести к появлению механических напряжений вакуумной камеры.

Как было найдено, на стенку вакуумной камеры падает синхротронное излучение мощностью порядка 44 Вт/м, что приводит к неравномерному нагреву камеры в месте падения на 60 градусов Цельсия ( $\Delta T = 62$  °C).

На камеру под атмосферой, закрытой так, чтобы исключить конвективный теплообмен с окружающей средой, подавался ток. Измерялся нагрев не только самой камеры, но также нагрев ярма магнита. При мощности порядка 41,7 Вт/м средний нагрев камеры равнялся 40 °C, что хорошо согласуется с расчетами. Был получен коэффициент конвективного теплообмена  $\approx 8,6$  Вт/м<sup>2</sup>\*К. На Рис.(5.10)11 показана зависимость температуры нагрева от мощности.

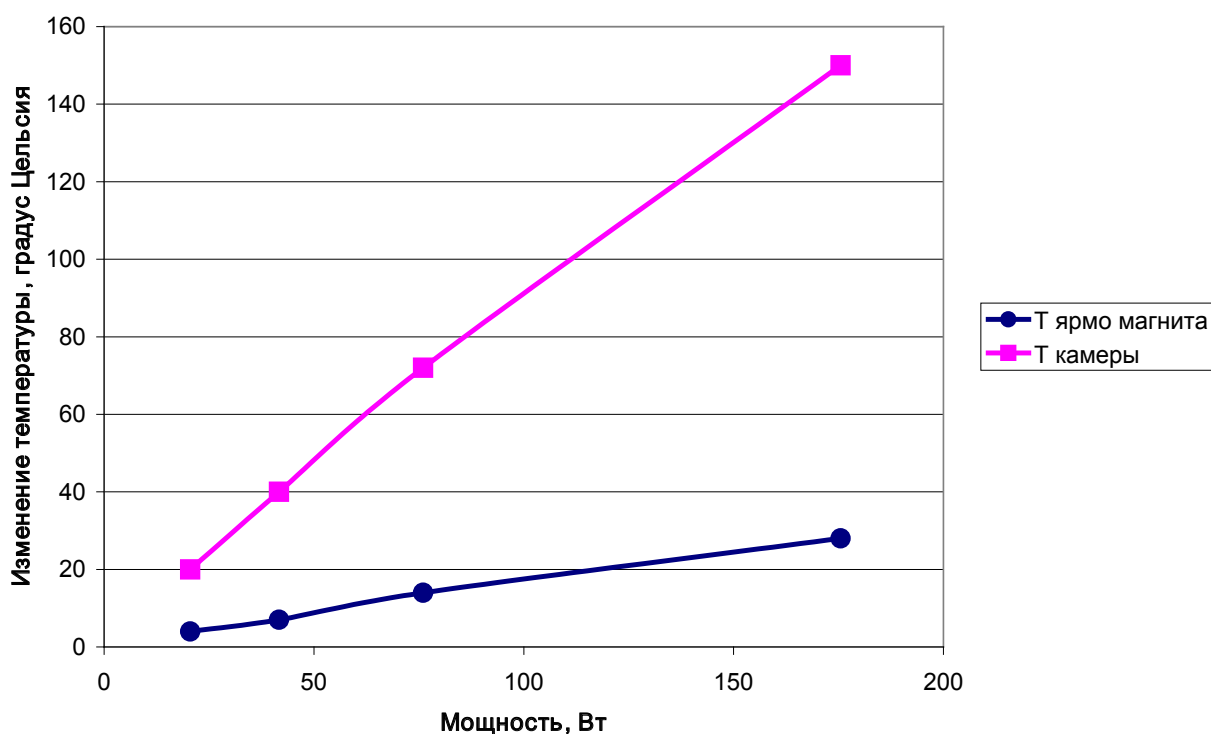


Рис.(5.10)11. Зависимость температуры нагрева от мощности.

Второй частью наших экспериментов было определение уже не средней температуры нагрева камеры и коэффициента конвективного теплообмена, а измерение нагрева по всему сечению камеры. Для этой цели был создан прототип вакуумной камеры с апертурой 41x24 мм. В Институте гидродинамики СО РАН было выполнено напыление оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) порядка 100 мкм, поверх которого был нанесен нихром толщиной 200 мкм и шириной полоски 5 мм.

Имитация пучка СИ выполнялась при помощи проводника с током с соответствующей величиной, равной мощности СИ.

На Рис.(5.10) 3. представлено расположение термопар на прототипе вакуумной камеры. Экспериментальные данные представлены в Таблице (5.10) 1.

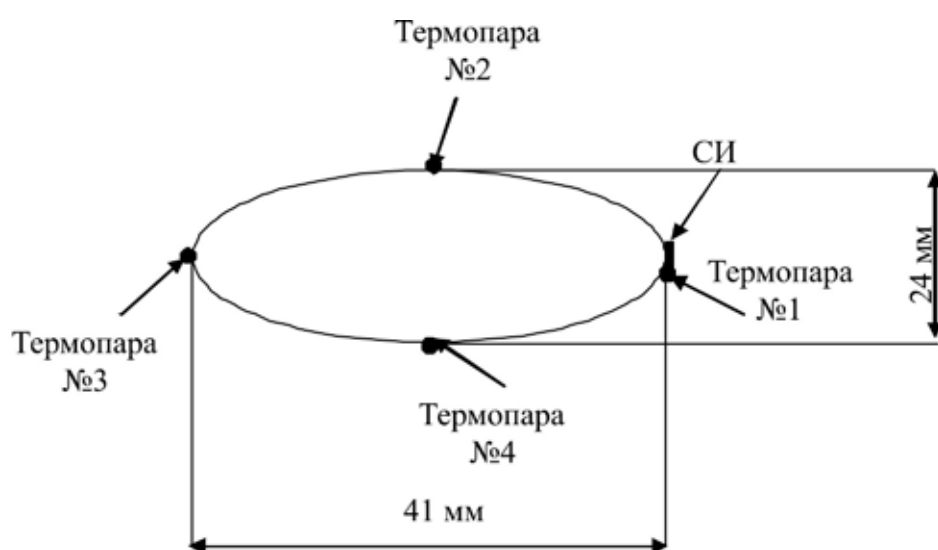


Рис.(5.10)12. Схема расположение термопар на прототипе вакуумной камеры.

Таблица (5.10) 1. Экспериментальные и теоретические данные по измерению температуры нагрева.

	Мощность, Вт	$\Delta T$ термопара №1, °C	$\Delta T$ термопара №2, °C	$\Delta T$ термопара №3, °C	$\Delta T$ термопара №4, °C
Эксперимент	41,7	60	37	30	39
Расчет	41,7	62	39	32	39

Нагрев узкой полоски камеры ( $\approx 1$  мм) приводит к тому, что камера испытывает механические напряжения порядка 114,5 МПа при допустимых не более 150 МПа.

## 5.11 Электронно-лучевой источник многозарядных ионов MIS-1

В течение 2010 г. велась работа по монтажу, наладке всех функциональных узлов и систем электронно-лучевого источника многозарядных ионов MIS-1, начиная с систем питания и управления. Велась подготовка установки к пуско-наладочной фазе, которая началась в 2011 году.

Особое внимание уделялось и уделяется обеспечению высокой надежности оборудования и функциональных узлов.

Время рабочего цикла на установке, время работы с электронным пучком, включая время ионизации и выпуска ионного пучка, находится в пределах от 100 мкс до 2,5 сек (в перспективе, если позволят вакуумные условия, время рабочего цикла может быть увеличено). Сквозность  $> 10$ .

По оси дрейфовой структуры в рабочем режиме проходит электронный пучок с током от 1 до 20 А при энергии до 50 кэВ. При этом плотность тока в электронном пучке  $J_e$  может достигать 2 кА/см<sup>2</sup> (диаметр электронного пучка  $\sim 1,1$  мм). Мощность в пучке достигает 1 МВт, а плотность мощности - до 100 МВт/см<sup>2</sup>.

Любое рассогласование электрических и магнитных полей в области ЭОС от катода электронной пушки до электронного коллектора может привести к серьезной аварии. Для обеспечения необходимого уровня надежности установки MIS-1 необходимы 2 уровня защиты.



Рис. (5.11)1. Дрейфовая структура MIS-1.



Рис. (5.11)2. Система дозированного напуска атомов твердых элементов и внутренняя часть газовой системы.





Рис.(5.11) 3. Анодный модулятор.



Рис. (5.11) 4. Высоковольтный регулируемый выпрямитель мощностью 100 кВА.

Первый уровень защиты обеспечивается системой электропитания установки, в которой предусмотрена очередность включения и выключения всех функциональных систем питания с обязательным наличием защиты от перегрузок при гарантированном наличии необходимых блокировок: по системе охлаждения дистиллятом, воздушному охлаждению, по наличию необходимого вакуума в вакуумной камере, при условии наличия номинального фокусирующего поля 3 Т внутри дрейфовой структуры.

Второй уровень защиты обеспечивается электронной системой управления. В ней предусмотрены необходимые быстродействующие блокировки, необходимое согласование параметров ЭОС и магнитной фокусирующей системы, управление параметрами остальных систем.

В ближайшее время установка будет смонтирована, механически отъюстирована и будет начата взаимная юстировка электронно-лучевой системы и магнитной фокусирующей системы MIS-1 в безопасном режиме с током электронного пучка не более 1,5 А при длительности импульсов от 100 мкс до 1 мс и фокусирующем магнитном поле от 1 до 3 Т.

В результате должны быть надежно обеспечены минимально возможные потери электронного пучка. В области электронной пушки, токооседание на анод  $\sim 10^{-3}$ , а в области дрейфовой структуры и ионной ловушки на уровне  $\sim 10^{-5} J_e$ .

Предварительно будет проведен прогрев вакуумной камеры и системы внутренней откачки на основе НЭГ (Нераспыляемого геттера).

По завершении юстировки ЭОС и магнитной фокусирующей системы будет начат этап по запуску всех рабочих систем установки и подготовке к проведению экспериментов по получению пучков многозарядных ионов и их анализу.

В области ионной ловушки установлены два образца твердых элементов, ниобий и графит с системой импульсного дозированного напуска атомов этих элементов в ионную ловушку, смонтированы внутренние элементы газовой системы, которая должна будет обеспечивать дозированный напуск газообразных элементов в область ионной ловушки.

## 5.12 Работы по электрон-позитронным фабрикам и физике пучков

В 2010 году было выполнено две работы по данной теме.

Уже давно при чтении лекций по курсу «Коллективные эффекты в физике пучков» ощущалось некоторое неудобство, связанное с укороченным изложением в изданном в 1996 году учебном пособии Д.В. Пестрикова «Лекции по когерентным колебаниям» (НГУ, 1996) вопросов о расфазировках пучков и сгустков и о затухании Ландау когерентных колебаний. Первоначально предполагалось, что не изложенные в пособии результаты студенты получают в ходе решения ими задач и упражнений. Сходным недостатком страдало и изложение этих вопросов в монографии Н.С. Диканского и Д.В. Пестрикова «Физика интенсивных пучков в накопителях» (Наука, 1989). Устраняя эти недочеты, в 2010 году Н.С. Диканский и Д.В. Пестриков выпустили учебное пособие: «Затухание Ландау и расфазировки когерентных колебаний пучков в накопителях» (НГУ, 2010). Помимо более систематического и подробного изложения этих вопросов пособие позволяет ознакомить студентов с практическим применением распространенных приемов теории линейных когерентных колебаний при решении такого рода задач.

Другая работа была посвящена изучению влияния разброса частот колебаний частиц на развитие в накопителях быстрых неустойчивостей поперечных когерентных колебаний одиночных сгустков. Нас интересовали неустойчивости с большим числом перекрытых синхробетатронных мод когерентных колебаний сгустка. Такие неустойчивости наблюдаются на современных накопителях заряженных частиц (например, на ESRF в Гренобле, Франция). Особенностью накопителей является неизбежное присутствие на орбите запоминание наведенных сгустком полей. В отличие от линаков, такое запоминание приводит к разделению когерентного сигнала сгустка на самосогласованную часть и на часть, описывающую эффект прерывания сгустка. Если запоминание наведенных полей не приводит к резонансным неустойчивостям, то в сгустке без разброса частот самосогласованная и не самосогласованная части когерентного сигнала развиваются подобным образом. Благодаря многочастотности мод пучка их суммарный вклад в сигнал увеличивается во времени медленнее, чем амплитуды отдельных мод. Разброс частот приводит к затуханию Ландау самосогласованных мод и к расфазировке не самосогласованной части колебаний. Действие затухания Ландау устанавливает пороги развития неустойчивостей. Это происходит при достижении границы области устойчивости когерентных колебаний сгустка инкрементом наиболее неустойчивой моды. При этом влияние эффекта прерывания сгустка заключается в том, что амплитуды когерентных колебаний на пороге неустойчивости увеличиваются до достижения ими стационарного значения. Выше порога колебания амплитуды нарастают, а ниже – затухают. Изучены зависимости пороговых явлений от параметров задачи.

## 5.13 Импульсный магнит для позитронного источника Super-B фабрики КЕК

В течение 2010 года проводились работы по подготовке конверсионного магнита и доработки генератора питания (Рис.(5.13) 1) перед отправкой в Японию в рамках международного сотрудничества. В течение данного времени была проведена комплексная перекомпоновка импульсного генератора питания магнита, с целью устранения предыдущих конструктивных недостатков и повышения надежности работы. В результате данной перекомпоновки удалось значительно снизить уровень шума при работе импульсного генератора и понизить его энергопотребление, что было достигнуто путем замены дросселя насыщения на снаберные элементы каждой тиристорной сборки и заменой высоковольтных коммутационных элементов. Данные работы проводились в течение первой половины 2010 года. В течение лета велись работы по выводу генератора питания на номинальные параметры (максимальное продольное магнитное поле 100 кГс, частота повторения импульсов тока 50 Гц), а также устранение мелких недочетов, связанных с электрическими наводками высоковольтных элементов генератора питания в цепях управления.





Рис.(5.13)1. Генератор импульсного питания конверсионного магнита

Осенью 2010 года генератор импульсного питания в разобранном виде, конверсионный магнит (Рис.(5.13) 2) и вакуумная камера были отправлены в Японию для проведения дальнейших ресурсных испытаний и измерения магнитного поля. В Японии была проведена сборка генератора питания магнита и проверка работоспособности всей системы целиком. Со снятой крышкой вакуумной камеры было достигнуто значение магнитного поля 60 кГс при частоте повторения 50 Гц.



Рис.(5.13)2. Импульсный магнит для позитронного источника Super-B фабрики КЕК.

Дальнейшее повышение значения магнитного поля было нецелесообразно из-за опасности электрического пробоя на воздухе.

В дальнейшем конверсионный магнит был установлен на измерительном стенде в ИЯФе, где в течение 3-х недель совместно с японскими коллабораторами проводилось комплексное измерение магнитных полей на низком уровне поля. По результатам измерений была составлена трехмерная карта магнитного поля, что в дальнейшем будет использовано для проведения компьютерного моделирования захвата позитронов и для проведения сравнения моделирования с реальными экспериментами на позитронном источнике линака КЕК-В.

В дальнейшем была произведена замена кожуха вакуумной камеры и установка конверсионной мишени. Магнит в вакуумной камере и генератор питания были перевезены в клистронную галерею линака КЕК для проведения в дальнейшем ресурсных испытаний.

## 5.14 Работы по системам впуска-выпуска

Для питания кикеров комплекса ВЭПП-2000 разрабатывался новый источник высоковольтных импульсов на тиратронах типа ТПИ (Рис.(5.14) 1). В отличие от используемых ранее ТГИ1000/25 с оксидным катодом, эти тиратроны имеют полый катод позволяющий работать с большими импульсными токами (ТПИ1-1к/35 до 4 кА в импульсе). Как показывает практика, для ТГИ1000/25 ток более 2 кА с течением времени приводит к необратимым изменениям в структуре катода и является следствием нестабильного срабатывания и самопробоев при подаче высоких импульсов напряжения на анод. К тому же небольшая мощность накала новых тиратронов позволяет обходиться встроенным в блок запуска источником питания вместо громоздкого накального трансформатора, так как составляет в рабочем режиме не более 2 Вт, что приблизительно в 60 раз меньше тиратронов ТГИ1000/25, и за год работы составляет разницу более 1 МВт\*ч на один тиратрон. Более высокое рабочее напряжение (до 35 кВ) позволяет достичь выходного напряжения на 30% выше, не прибегая к существенному изменению схемы, кроме других элементов цепи генератора (более высоковольтные конденсаторы и дроссели развязки). Для достижения на комплексе ВЭПП-2000 энергии 1 ГэВ кроме переделок на кольце БЭП и ВЭПП необходимо повышение удара кикера на 25%.

Скромные габаритные размеры не позволяют обойтись без герметичного корпуса, с выводами для сетки и анода, заполненного карбогалом, в который помещен тиратрон. На воздухе рабочее напряжение ограничивается пробоем по керамике при напряжении не более 23 кВ.

Значительным изменением для замены тиратронов на ТПИ в действующих генераторах будет новый блок управления тиратрона, так как необходимы другие параметры сигналов предионизации и запуска.

Кроме того, для обеспечения инжекции на энергии до 1 ГэВ изготавливаются дополнительные пластины кикеров, для установки в кольцо ВЭПП, питание этих пластин планируется от генераторов на новых тиратронах типа ТПИ. Были изготовлены нагрузки номиналом 50 Ом (Рис.(5.14) 1) для комплекса ВЭПП-2000 и по контракту для Харьковского института.

Работающие в схеме переключения полярности и направления импульса к пластинам инфлектора ВЭПП-2000 коммутаторы оказались слабым местом в передающем тракте. В блоке расположены и задействованы один шестнадцатиконтактный и два восьмиконтактных коммутатора под кабель РК50-24-17, вся система вместе с жилами кабеля находится под давлением 2 кг/см<sup>2</sup> элегаза. Контактные площадки в коммутаторе оказались не рассчитаны на ток, составляющий более 2,5 кА в импульсе, вышли из строя. После этого была доработана технология изготовления контактов. Кроме этого упростили схему коммутации, оставив задействованным один большой коммутатор, отказавшись от подключения пластин кикера на балластные резисторы для согласования в режимах переключений. Это позволило высвободить два восьмиконтактных коммутатора, один из которых будет включен в схему питания двух дополнительных пластин инфлектора. Режим инжекции комплекса составляет менее 1 Гц. Поэтому для высоковольтного питания генераторов системы впуска принято решение модернизировать мощную систему зарядки: аккорд – высоковольтный трансформатор - рабочая емкость генератора, заменив ее на компактный инвертор с умножением напряжения, расположенный непосредственно в корпусе генератора.



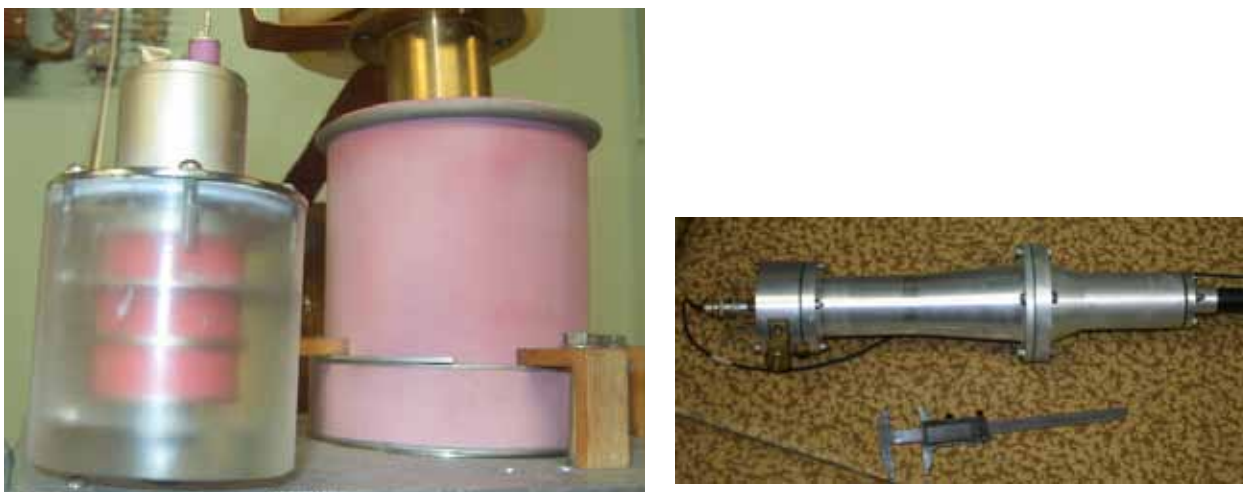


Рис.(5.14)1. Тиратроны ТПИ1-1к/35 и ТГИ1000/25 и нагрузка номиналом 50 Ом (слева направо).

Мощность, потребляемая источником, составляет 6 Вт. Это позволит не только установить в высоковольтном блоке еще два генератора для новых пластин, но и отказаться от кабельных трасс и громоздких трансформаторов, освободив место для обслуживания и более рационального размещения оборудования в блоке. В настоящий момент макет зарядного источника проходит испытания на стенде, аналогичном по параметрам рабочим генераторам (Рис.(5.14)2).



Рис.(5.14)2. Стенд испытаний зарядного источника.

На инжекционном комплексе проводились работы по долговременному исследованию работы объемных резисторов нагрузок кикеров. Проблема с качеством дистиллята вызывает деградацию резисторов при работе с высокими напряжениями. Происходит существенное увеличение номинала резисторов, а иногда и физическое разрушение (выгорание) контактных площадок до внутренних слоев керамики. Таким образом, за время работы комплекса заменено более десятка резисторов, что недопустимо для режима эксплуатации. Одним из выходов видится замена в системе охлаждения дистиллята на воздух. Практические испытания показывают, что при давлении на подаче воздуха в нагрузку до  $2 \text{ кг/см}^2$  и мощностью, эквивалентной работе в режиме 50 Гц и максимальном напряжении, резистор разогревается до температуры  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  без изменения параметров проводимости. Было решено переделать охлаждение нагрузок на инжекционном комплексе на воздушное. Кроме этого сами нагрузки были подвергнуты некоторым доработкам.



# **6**

## **Синхронное излучение и лазеры на свободных электронах**



## 6.1. Введение

Уже более тридцати лет в Институте Ядерной Физики функционирует центр коллективного пользования Сибирский Центр Синхротронного и Терагерцового Излучения (СЦСТИ). Работы в СЦСТИ ведутся по двум направлениям: с использованием синхротронного и терагерцового излучений.

Направление «Синхротронное излучение» включает в себя работы на пучках синхротронного излучения (СИ) из накопителей ВЭПП-3 и ВЭПП-4, разработку и создание ускорителей и специальных магнитных систем для генерации СИ для российских и зарубежных центров, а также создание экспериментального оборудования для работ с пучками СИ (каналы вывода излучения, монохроматоры, детекторы и другое экспериментальное оборудование).

Другое направление работ – «терагерцовое излучение», включает в себя работы с использованием излучения из Новосибирского лазера на свободных электронах (ЛСЭ) (в диапазонах 110-240 мкм и 40-120 мкм), дальнейшее развитие Новосибирского ЛСЭ и участие в зарубежных проектах по данной тематике.

Кроме того, в программе центра - обучение и подготовка студентов и аспирантов.

Для проведения работ на пучках СИ из накопителя ВЭПП-3 в 2010 году было выделено 1220 часов и 294 часа было выделено для работы на ВЭПП-4М. В экспериментах были задействованы 10 станций на 7 каналах вывода СИ из ВЭПП-3 и 2 станции на излучении из ВЭПП-4М. Исследовательские группы из 55 институтов и других организаций проводили свои эксперименты на СИ в 2010 году. Работа с терагерцовым излучением была организована на 6 рабочих станциях пользователей. Важной задачей в 2010 году был ввод второй очереди Новосибирского ЛСЭ и монтаж систем третьей очереди.

Для выполнения исследований на пучках терагерцового излучения из Новосибирского ЛСЭ было выделено около 750 часов рабочего времени. На станциях проводили исследования сотрудники из 8 институтов СО РАН, а также преподаватели, студенты и аспиранты Новосибирского государственного университета (НГУ) и Новосибирского государственного технического университета (НГТУ).

Работы Сибирского центра Синхротронного и терагерцового излучения в 2010 году проводились при финансовой поддержке большого количества интеграционных проектов СО РАН, РАН, проектов РФФИ и других источников финансирования, указанных далее по тексту. Так же в 2010 году Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения участвовал в Федеральных целевых программах: «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы», контракт № 02.552.11.7081, тема «Проведение поисковых научно-исследовательских работ с использованием синхротронного и терагерцового излучения в области живых систем, индустрии наносистем и материалов, экологии и рационального природопользования в центре коллективного пользования научным оборудованием «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения (СЦСТИ)» (2009-2010 годы).

В 2010 году Винокурову Николаю Александровичу была присуждена Государственная премия Российской Федерации в области науки и технологий за 2009 год за достижения в области разработки и создания лазеров на свободных электронах. Государственная премия Новосибирской области за участие в разработке лазеров на свободных электронах была присуждена Г.Н. Кулипанову, А.Н. Скринскому, В.В. Кубареву, О.А. Шевченко, М.А. Щеглову, В.М. Петрову.

## 6.2. Работы на пучках СИ из ВЭПП-3

### 6.2.1. Станция «ВЗРЫВ» (Экстремальные состояния вещества)

Станция «Взрыв (Экстремальные состояния вещества)» предназначена для регистрации проходящего излучения и малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) при исследовании детонационных и ударно-волновых процессов.

Участвующие организации в 2010 году:

- Российский федеральный ядерный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики» (РФЯЦ ВНИИТФ), Снежинск;
- Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск;
- Федеральный ядерный центр Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (РФЯЦ- ВНИИЭФ), Саров;
- Институт гидродинамики СО РАН, Новосибирск;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск.

В 2010 году работы проводились при финансовой поддержке проектов:

1. Интеграционный проект СО РАН №11 «Исследование поведения кристаллической решетки взрывчатых веществ и конденсированных наночастиц во время детонации методами дифрактометрии синхротронного излучения»;
2. Грант РФФИ 10-08-00859-а «Исследование фронта ударной волны в наноструктурном SiO<sub>2</sub> аэрогеле с помощью синхротронного излучения»;
3. Грант РФФИ 09-03-01155-а «Использование синхротронного излучения для исследования модельных механохимических процессов с наносекундным временным разрешением»;
4. Грант РФФИ 08-03-00588-а «Исследование динамики и кинетики детонационных процессов с использованием усовершенствованного метода синхротронной диагностики»;

#### Темы работ 2010 года:

Одно из приоритетных направлений работы РФЯЦ – безопасность использования изделий, содержащих взрывчатые вещества (ВВ).

Под безопасностью понимается широкий круг вопросов, а именно:

1. Безопасность использования изделий при более высоких температурах. Существующие боевые ВВ выдерживают температуры менее 200 °С. Обшивка самолетов, летящих на малой высоте, может нагреться до 300 °С. Боеприпас на внешней подвеске должен долететь до цели.
2. Безопасность при аварийных ситуациях (соударение, пожар и т.д.). ВВ в изделиях должны быть малочувствительны к ударам, не бояться высоких температур.
3. Безопасность при длительном хранении. ВВ должно сохранять свои свойства при длительном (более 20 лет) хранении в диапазоне температур от -50 до +50 °С.

Из всех существующих ВВ наиболее перспективным является составы на основе ТАТБ (1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzene). ТАТБ отличается низкой чувствительностью (ниже, чем у ТНТ), и хорошей пожаробезопасностью. Он сохраняет свои свойства при температурах до 300 °С и после 320 °С вообще не взрывается (разлагается). Поэтому исследование составов на основе ТАТБ является приоритетной задачей РФЯЦ.

Исследование ВВ материалами обычными методиками требует множества экспериментов и большого количества времени. Поэтому актуальным является использование новых современных методик, часть из которых разработаны ИЯФ СО РАН, ИХТТ СО РАН, ИГиЛ СО РАН.

1. Методика измерения распределения плотности за фронтом детонации. Плотность вещества является одним из главных параметров в физике взрыва. Наша методика позволяет одновременно измерять скорость детонации и массовую скорость продуктов, что позволяет сравнивать полученные данные с другими методиками. До сих пор не существует других методик по быстрому измерению плотности. Существующие датчики измерения давления влияют на параметры среды. Особенно это сказывается при малых диаметрах зарядов.

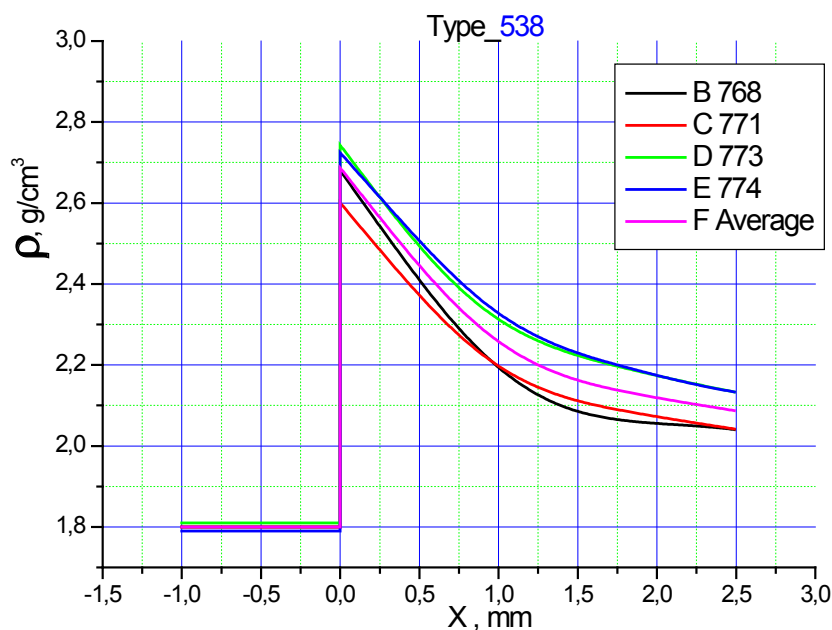


Рис.(6.2)1. Распределение плотности за фронтом детонации в ТАТБ.

2. Создана методика восстановления полей давления и скоростей по известному распределению плотности. Используя только уравнения неразрывности и сохранения импульса, удалось получить распределения давлений и массовых скоростей за фронтом детонации.

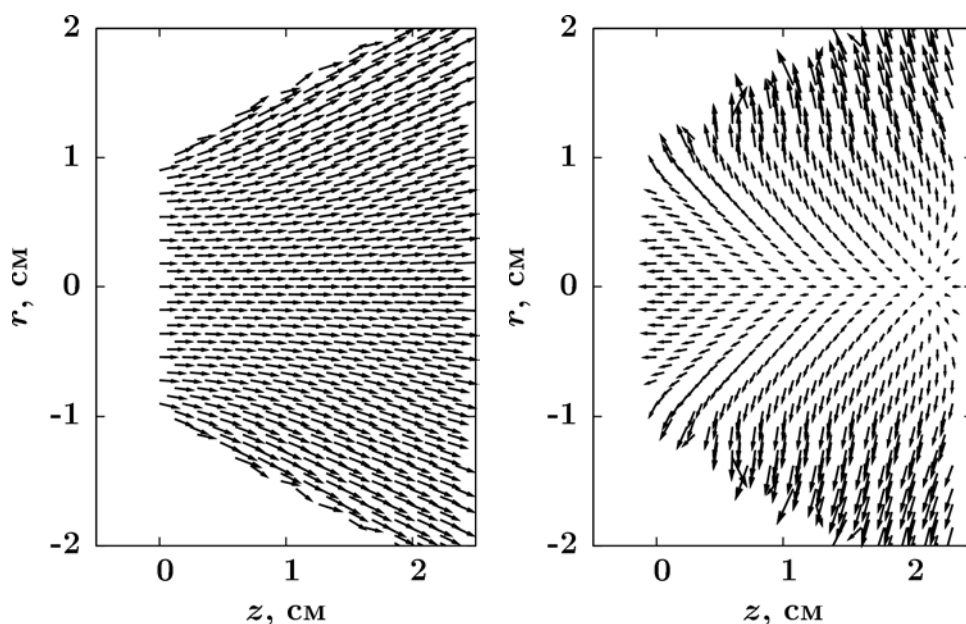


Рис.(6.2)2. Поле скорости в системе связанной с фронтом детонационной волны (а) и в неподвижной системе (б) за фронтом детонации ТАТБ.

3. Методика измерения МУРР (малоугловое рентгеновское рассеяние) за фронтом детонации. До сих пор нигде в мире не могут измерять дифракционные сигналы в динамике. Эта методика является единственной для определения размеров частиц конденсированной фазы углерода. За фронтом детонации выделяется от 10 до 30 % энергии в результате конденсации частиц.



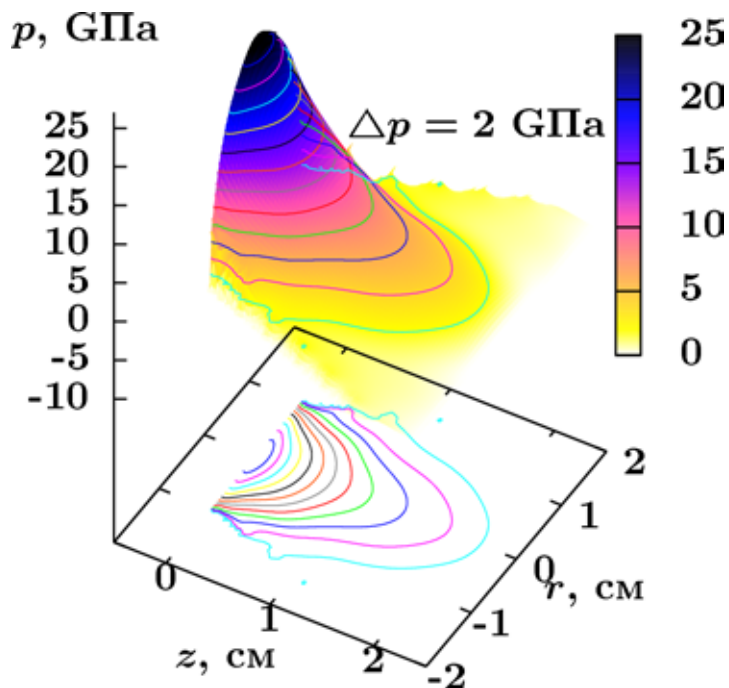


Рис.(6.2)3. Пространственное распределение давления в ТАТБ.

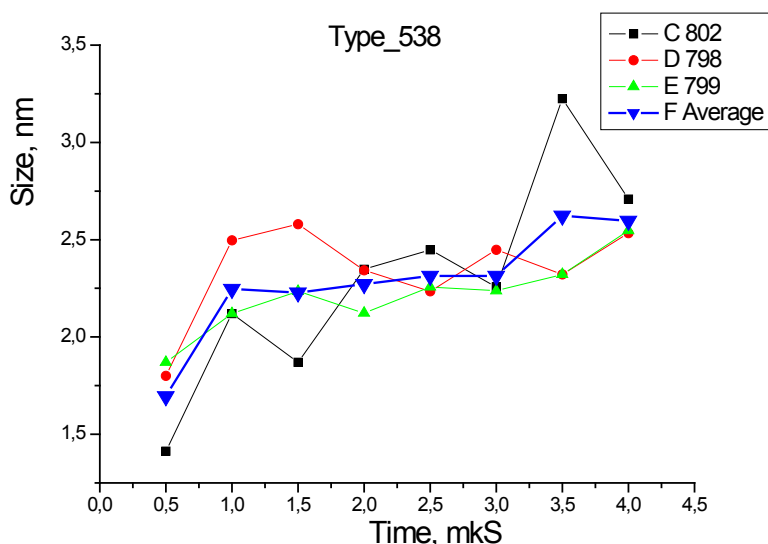


Рис.(6.2)4. Динамика роста размеров наночастиц при детонации ТАТБ от времени. На кривой F приведен средний размер частиц.

4. Методика получения рентгеновских микротомограмм. При создании различных систем одним из главных параметров является стабильность скорости детонации. Добиться этого можно, контролируя равномерность плотности (размер неоднородностей не должен превышать 10 мкм). Установка на 5 канале единственная в России позволяет видеть неоднородности порядка 5 мкм внутри образца. ( В США есть установки, позволяющие измерять неоднородности до 10 нм).

5. Методика измерения параметров решетки при изменении температуры. Метод нагрева и охлаждения ВВ является основным при контроле стабильности параметров при длительном хранении. Циклическое изменение температуры позволяет имитировать длительное хранение ВВ. Измерение положений дифракционных пиков позволяет контролировать параметры решетки. Вместе с микротомографией эта методика позволяет заметно улучшить контроль стабильности ВВ.

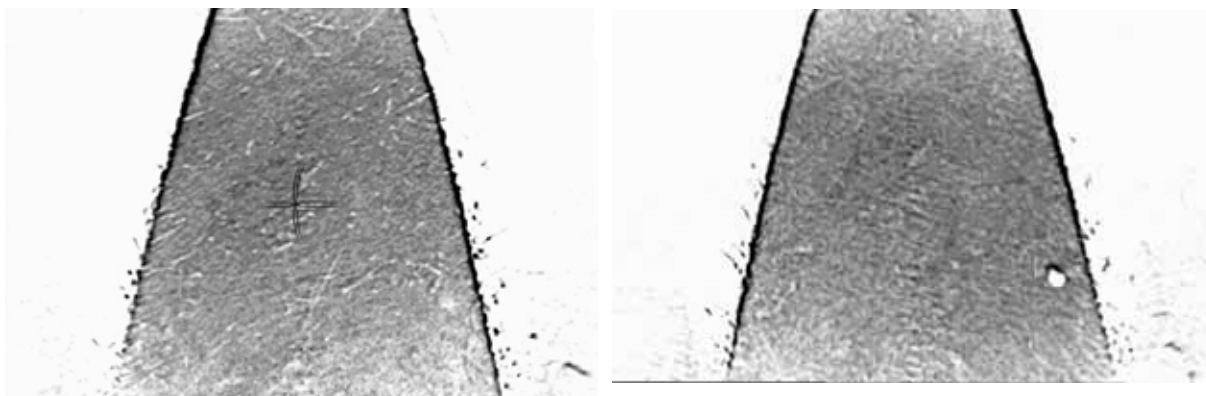


Рис.(6.2)5. Пластифицированный ТАТБ. Комнатная температура (слева). Температура 200<sup>0</sup>С (справа). Видна появившаяся полость размером 60 мкм.

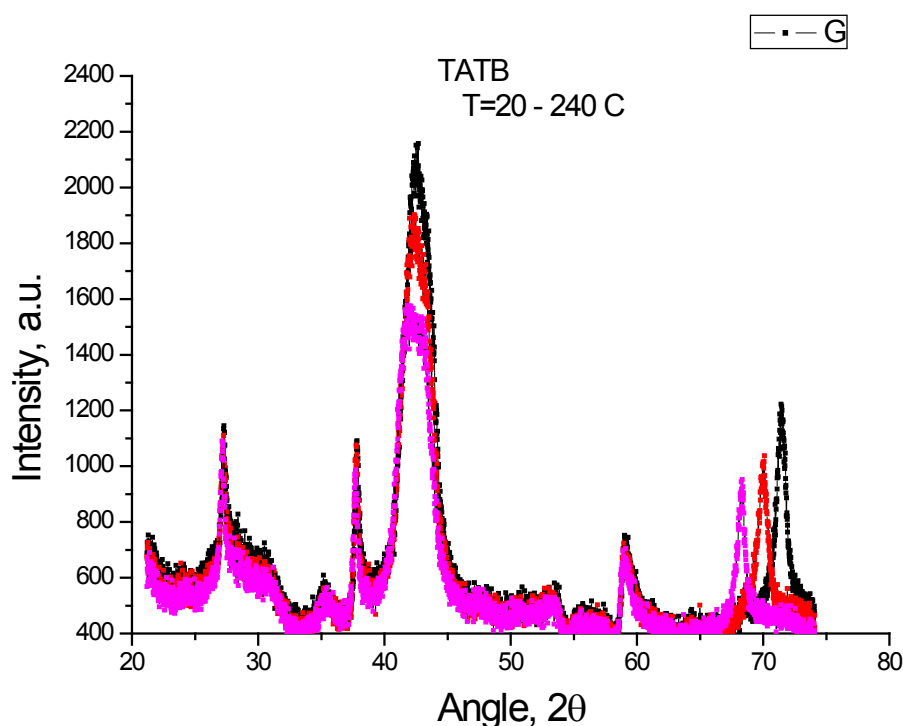


Рис.(6.2)6. Динамика положений дифракционных пиков в ТАТБ при нагревании от 20<sup>0</sup> до 240<sup>0</sup> С.

### 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;
- Новосибирский государственный университет.

В 2010 году работы проводились при финансовой поддержке проектов:

1. Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН №55 «Рентгеновские LIGA технологии синтеза 3D дифракционных структур»;
2. Государственный контракт № 02/04 для нужд Федерального государственного учреждения

Российский научный центр «Курчатовский институт» “Проведение научно-исследовательских работ в области гибридных микрофлюидных систем по направлениям: «базовые элементы гибридных микрофлюидных систем для биосенсорных и других технологий»; «биосенсоры для детекции и анализа сверхнизких концентраций биологически активных соединений»”.

**Темы работ 2010 года:**

1. Модернизация станции СИ «LIGA» - разработка, сборка и тестирование рентгенолучевого генератора изображения для прямого формирования микроструктур (Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН).

2. Разработка методов изготовления и тестирования рентгеношаблонов для глубокой рентгеновской литографии (Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).

3. Разработка, изготовление и тестирование селективных элементов терагерцового диапазона тонкие пленки мезоструктурированных силикатных материалов (Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирский государственный университет).

4. Разработка базовых элементов гибридных микрофлюидных систем для биосенсорных и других технологий» (Институт цитологии и генетики СО РАН, Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).

Примеры работ 2010 года:

**1. Разработка методов изготовления и тестирования рентгеношаблонов для глубокой рентгеновской литографии.**

В ИЯФ СО РАН совместно с ИХТТМ СО РАН разработан и реализован в технологической практике способ изготовления рентгеношаблонов (РШ) с поглощающим рисунком из золота на стеклоглеродной подложке без использования дорогостоящих этапов электронной литографии, изготовления промежуточного рентгеношаблона и рентгенолитографии в мягком спектре СИ для получения рабочего шаблона.

Для формирования рисунка топологии микрофлюидной системы, разрабатываемые ИЦиГ СО РАН, использовался метод Direct-LIGA, основанный на принципе векторного формирования микрорисунка рентгеношаблона непосредственно в толстом слое рентгенорезиста на проводящей рентгенопрозрачной подложке игольчатым микропучком СИ на станции «LIGA».

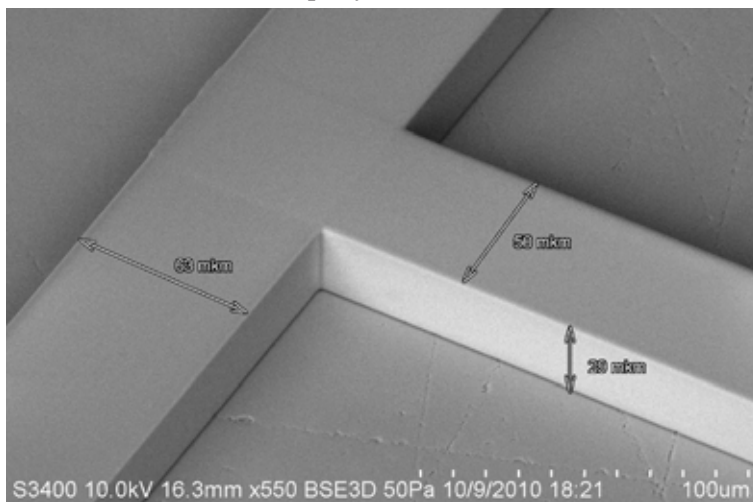


Рис.(6.2)7. Фрагмент заготовки рентгеношаблона – микроструктура из резиста SU-8 высотой 29 мкм на подложке из стеклоглерода.

Для получения высококонтрастного рентгеношаблона на заготовку электрохимическим способом осаждался слой золота толщиной 20 мкм. Изготовленный рентгеношаблон контролировался с помощью оптического и электронного микроскопов. Контроль рентгеноконтраста осуществлялся с помощью синхротронного излучения на станции «Рентгеновская микроскопия и томография» по специально разработанной методике.

## 2. Разработка базовых элементов гибридных микрофлюидных систем для биосенсорных и других технологий.

Микро/нанофлюидные системы (МНФС) представляют собой интегрированные устройства – лаборатории на чипах, образованные системой каналов с ламинарным течением жидкостей, что создает оптимальные и легко контролируемые условия для протекания транспортных и диффузионных процессов; функционирования бактериальных и эукариотических клеток; протекания молекулярно-биологических, молекулярно-генетических, биохимических, химических реакций. Основное достоинство МНФС состоит в том, что они позволяют работать с предельно малыми объемами реагентов –  $10^{-9}$ – $10^{-15}$  литров и пикограммами веществ.

Разрабатывались микрофлюидные модули двух типов – для реакции иммунодиффузии (обнаружения в анализируемой жидкости антигенов или антител) и для автоматического получения градиента концентраций анализируемого вещества.

Было изготовлено 10 одноразовых сменных микрофлюидных модулей из ПММА для проведения реакции иммунодиффузии и 10 одноразовых сменных микрофлюидных модулей – «градиентаторов» для позиционирования клеток геносенсоров. Для получения высококонтрастного рентгеношаблона на заготовку электрохимическим способом осаждался слой золота толщиной 20 мкм.

Экспресс контроль процесса изготовления рентгеношаблона и микрофлюидных модулей проводился с помощью оптического микроскопа МИИ-4 и сканирующего электронного микроскопа HITACHI S3400N.

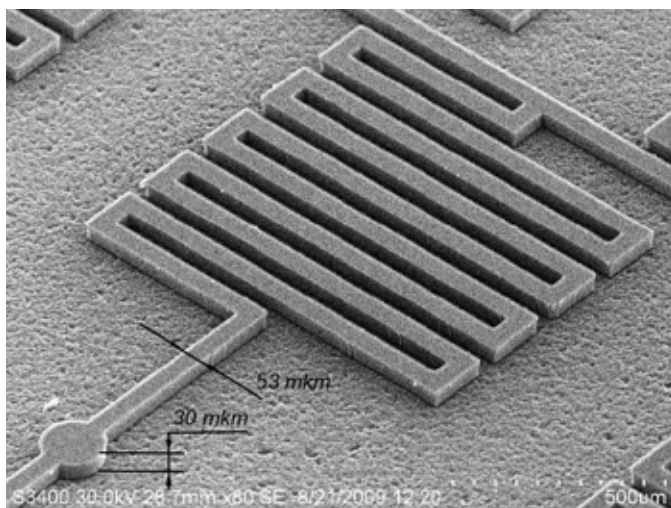


Рис.(6.2)8. Фрагмент заготовки рентгеношаблона (структура из SU-8 до гальванического осаждения золота).

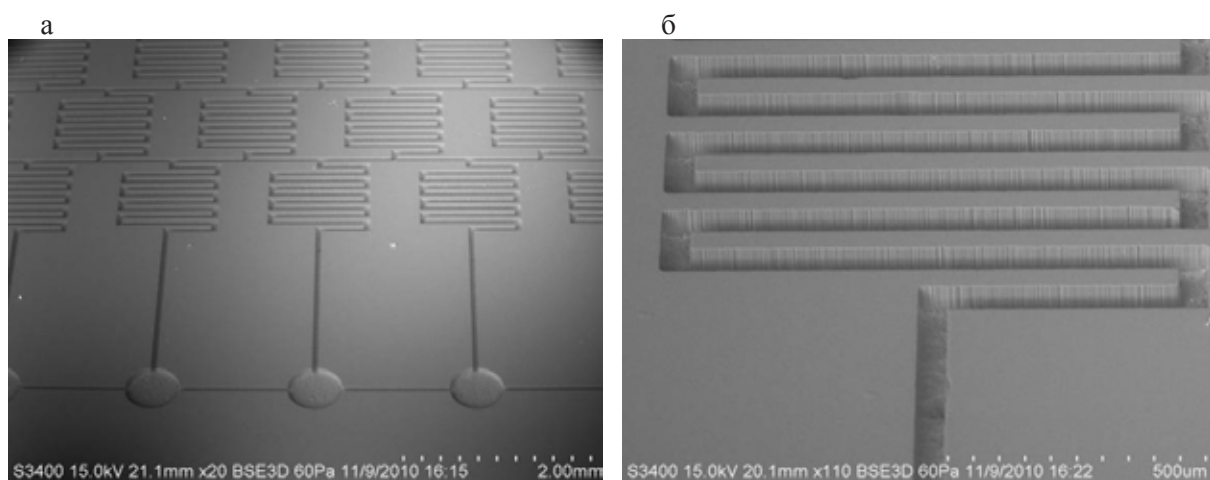


Рис.(6.2)9. СЭМ фотографии фрагментом микроканального модуля.

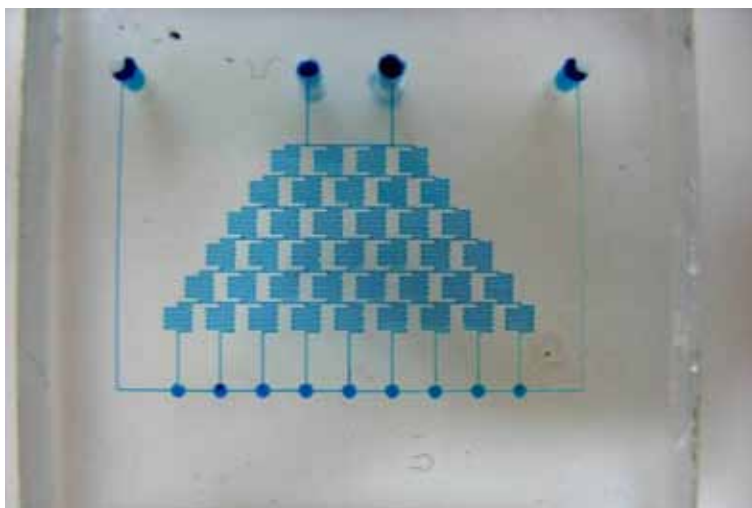


Рис.(6.2)10. Фотография одноразового сменного микрофлюидного модуля – «градиентатора» для позиционирования клеток геносенсоров. Для наглядности каналы заполнены чернилами.

В результате проведенных измерений показано, что микрофлюидные модули, изготовленные методом LIGA-технологии, полностью соответствуют разработанной топологии, проектной документации и требованиям технического задания. Ширина каналов разных модулей составляет от 55 мкм до 60 мкм. Шероховатость составила меньше 3 %.

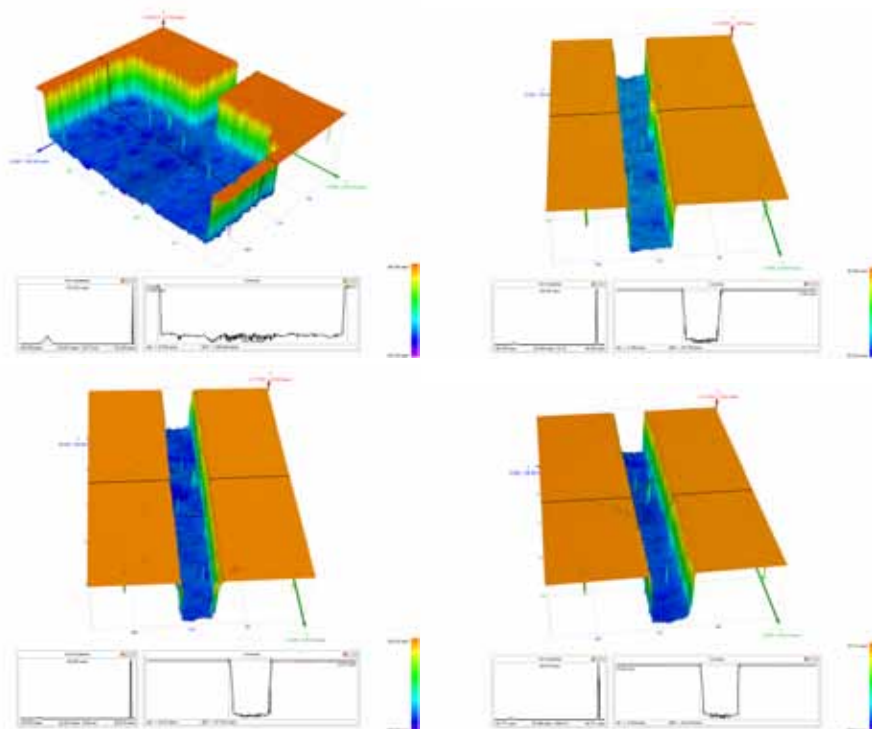


Рис.(6.2)11. Контроль качества изготовления микрофлюидных модулей при помощи профилометра «Профиль» (КТИ НП СО РАН).

Тестирование созданных образцов микрофлюидных систем успешно проведено в ИЦиГ СО РАН.

### 6.2.3. Станция «Аномальное Рассеяние»

Станция предназначена для прецизионных исследований структуры поликристаллических материалов методами рентгеновской дифрактометрии с высоким угловым разрешением.

Участвующие организации:

- Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск;



- Институт неорганической химии им. А.В.Николаева СО РАН, Новосибирск;
- Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск;
- Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск;
- Томский политехнический университет;
- Томский государственный университет;
- Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск.

В 2010 году работы проводились при финансовой поддержке СО РАН и РФФИ:

1. Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН №82 «Кислородная проницаемость массивных и нанесенных мембран на основе перовскитов со смешанной проводимостью».
2. Грант РФФИ №09-03-90424-Укр\_ф\_а «Разработка и исследование металл-оксидных катализаторов для гетерогенно-каталитических процессов получения и очистки водорода».

#### **Темы работ 2010 года:**

1. Мезоструктурированные алюмосиликатные материалы, вариация размера мезопор с различной температурой гидротермальной обработки (Институт катализа СО РАН, Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск).
2. Гетероструктуры на основе германия и кремния. Квантовые точки (Институт физики полупроводников СО РАН, Институт катализа СО РАН).
3. Кислород-проводящие материалы на основе перовскитоподобных оксидов (Институт катализа СО РАН, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).
4. Упрочняющие покрытия на основе нитрида титана (Томский политехнический университет).
5. Медно-цериевые катализаторы получения и очистки водорода от примесей СО (Институт катализа СО РАН).
6. Релаксационные процессы в цирконии при пластических деформациях (Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск).
7. Катализаторы на основе интерметаллидов никеля-алюминия для процессов углекислотной конверсии метана (Институт катализа СО РАН, Томский государственный университет).
8. Оксидные катализаторы с перовскитоподобной структурой для процессов углекислотной конверсии метана (Институт катализа СО РАН).
9. Гетроструктуры на основе сульфида кадмия (Институт физики полупроводников СО РАН, Институт неорганической химии СО РАН).
10. Тонкие пленки карбонитридов кремния различного состава и генезиса (Институт неорганической химии СО РАН).

Примеры работ 2010 года:

#### **1. Мезоструктурированные силикатные и элемент-силикатные материалы.**

В настоящее время более 90 % промышленных химических процессов осуществляются на адсорбентах и гетерогенных катализаторах. Эффективность их использования зависит от химического и фазового состава, от структурных особенностей и от текстурных характеристик материалов: удельной поверхности, объема пор и их распределения по эффективным размерам. Поэтому направленное регулирование текстурных параметров катализаторов и адсорбентов представляет актуальной задачей. С точки зрения катализа привлекательные и уникальные свойства силикатных и элемент-силикатных мезопористых мезофазных материалов (МММ) – большая удельная поверхность, достигающая 1000 м<sup>2</sup>/г и более, большая пористость (более 1 см<sup>3</sup>/г) и узкое распределение пор по размерам.

Типичный пример МММ – силикат SBA-15, имеющий двумерную гексагональную упаковку однородных по размеру пор, близких по форме к цилиндрическим. Регулирование текстурных параметров таких материалов может осуществляться изменением температуры гидротермальной обработки (ГТО), проводимой в процессе синтеза до удаления структурообразующего агента – поверхностно-активного вещества (ПАВ) Pluronic P123. Введение в структуру мезопористого силиката примесных катионов на этапе синтеза МММ позволяет получать каталитические системы с внедренными в силикатную стенку каталитически активными гетероэлементами. Текстурные

характеристики (удельная поверхность мезопор, удельный объем мезопор, распределение мезопор и микропор по размерам) синтезируемых материалов определяются методом низкотемпературной адсорбции азота, структурные (параметр двумерной элементарной ячейки, степень регулярности структуры) – рентгеновской дифракцией на станции «Аномальное Рассеяние» в Сибирском Центре Синхротронного Излучения.

В 2010 году осуществлен синтез мезопористых силикатов и алюмосиликатов при термостатировании синтетической смеси в ходе синтеза в диапазоне 20 – 150 °С. МММ синтезировали путём осаждения предшественников SiO<sub>2</sub> и Al в присутствии ПАВ Pluronic P123. Синтез проводили при pH 1÷3, поскольку именно в этих условиях производят осаждение гетероэлементов из растворимых форм. В качестве источника алюминия в алюмосиликатных мезофазах выступал сульфат алюминия Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. После ГТО полученный материал отфильтровывали, промывали дистиллированной водой и высушивали на воздухе. Затем материал прокачивали с целью удаления ПАВ.

На Рис.(6.2)12 представлены распределения объёмов пор по размерам для пористого оксида кремния и для алюмосиликатного материала, рассчитанные из изотерм адсорбции азота при 77К, измеренных на автоматизированной адсорбционной установке ASAP – 2400 (Micromeritics). С увеличением температуры гидротермальной обработки происходит увеличение размеров пор материалов вследствие температурного расширения ПАВ, предшествующего поликонденсации силикатной стенки.

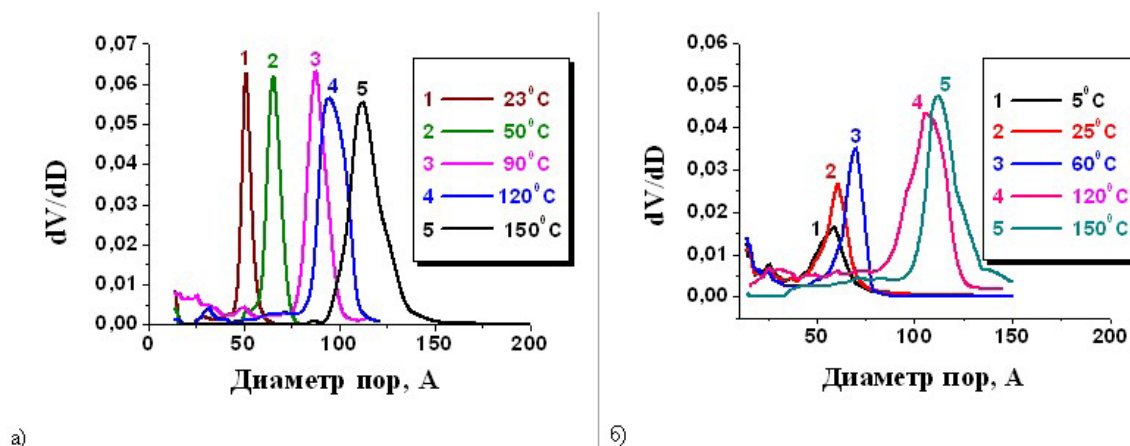


Рис.(6.2)12. Распределения объёмов пор по размерам, полученные на основе данных по адсорбции азота при 77 К для пористых оксидов силиката (а) и алюмосиликатов (б) с различной температурой гидротермальной обработки.

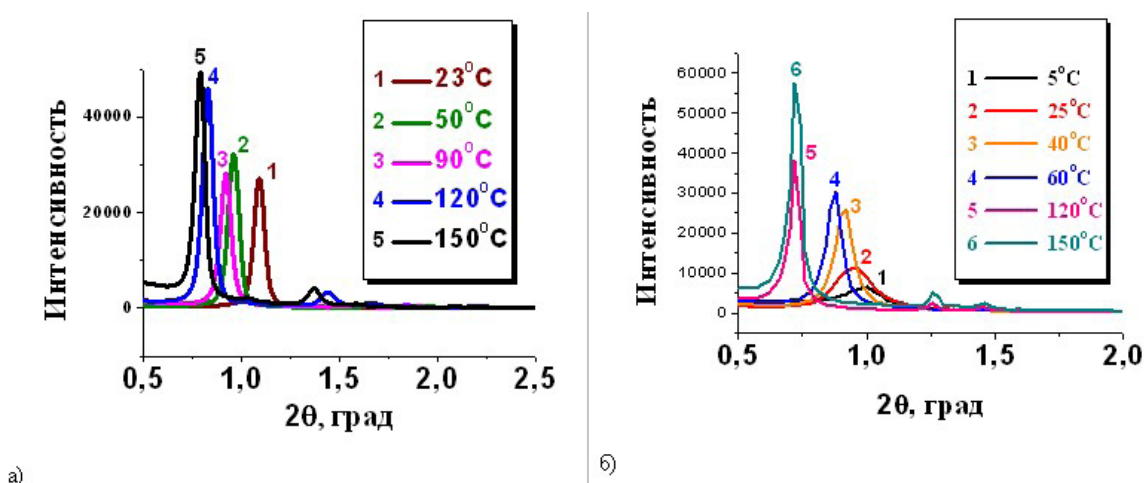


Рис.(6.2)13. Рентгенограммы для мезопористых силикатных (а) и алюмосиликатных (б) мезофазных материалов с различной температурой гидротермальной обработки.

На Рис.(6.2)13. показаны рентгенограммы силикатных и алюмосиликатных материалов, измененные в малоугловой области. Для всех материалов характерны диффрактограммы, соответствующие двумерной гексагональной упаковке пор одинакового размера. С увеличением температуры гидротермальной обработки происходит сдвиг рефлексов в область меньших углов и, соответственно, увеличение параметров ячейки. Кроме того, с ростом температуры увеличивается степень совершенства структуры МММ, о чем свидетельствует появление на рентгенограммах рефлексов высших порядков.

Текстурные характеристики материалов, рассчитанные из адсорбционных и рентгенографических данных, представлены в Таблице (6.2)1.

Таблица (6.2)1. Текстурные и структурные характеристики силикатных и алюмосиликатных МММ, полученных при разных температурах ГТО.

Температура ГТО	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г		Объём пор, м <sup>3</sup> /г		П а р а м е т р ячейки, а <sub>0</sub> , нм		Диаметр пор, нм	
	SiO <sub>2</sub>	Al-SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al-SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al-SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al-SiO <sub>2</sub>
23 °С	456	720	0,49	0,59	9,26	10,7	5,1	6,1
50 °С	460	696	0,67	0,65	10,61	11,1	6,5	6,9
90 °С	648	-	0,99	-	12,13	-	8,7	-
120 °С	578	843	0,95	0,85	12,43	11,7	9,5	10,6
150 °С	391	700	1,01	0,66	12,74	14,2	11,2	11,3

Проведенные исследования показали, что температурная обработка алюмосиликатных мезофазных материалов позволяет регулировать размер пор в диапазоне 6 – 11 нм, что несколько меньше ожидавшегося. Рентгеновская дифракция продемонстрировала наличие только одной гексагональной двумерной фазы, что и ожидалось при планировании работ. Однако снижение температуры обработки приводит к уширению дифракционных максимумов.

#### 6.2.4. Станция «Прецизионная Дифрактометрия»

Станция предназначена для исследований изменения структуры поликристаллических материалов под действием высоких температур и реакционных сред методами рентгеновской дифрактометрии с разрешением по времени.

Участвующие организации:

- Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск;
- Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск;
- Томский политехнический университет;
- Томский государственный университет;
- Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск.

В 2010 году работы проводились при финансовой поддержке СО РАН:

Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН №82 «Кислородная проницаемость массивных и нанесенных мембран на основе перовскитов со смешанной проводимостью»

**Темы работ 2010 года:**

1. Кислород-проводящие материалы на основе перовскитоподобных оксидов (Институт катализа СО РАН, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).
2. Катализаторы на основе интерметаллидов никеля-алюминия для процессов углекислотной конверсии метана (Институт катализа СО РАН, Томский государственный университет).
3. Оксидные катализаторы с перовскитоподобной структурой для процессов углекислотной конверсии метана (Институт катализа СО РАН).
4. Структурные изменения и релаксационные процессы в палладии при внедрении водорода (Томский политехнический университет).
5. Восстановление комплексов благородных металлов (Институт неорганической химии СО РАН).

6. Аллюмокобальтовые катализаторы для процесса Фишера-Тропша (Институт катализа СО РАН).
7. Медно-никелевые катализаторы роста азотсодержащих углеродных нановолокон (Институт катализа СО РАН).
8. Восстановление нанодисперсного висмута из оксидов (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).

#### Примеры работ 2010 года:

**1. In Situ рентгенодифракционное исследование Ni-Cu катализатора в процессе роста азотсодержащих углеродных нановолокон.** Углеродные нановолокна (УНВ) используются в различных областях науки и технологии от электроники и материаловедения до катализа и адсорбции. Для использования в качестве носителей для катализаторов синтезируют УНВ с включением азота для обеспечения лучшей адгезии активного компонента на поверхности носителя. Синтез обычно проводят из газовой фазы разложением углеводородов на катализаторах – переходных металлах и их сплавах. При использовании различных металлов получают УНВ различной морфологии.

В данной работе проведено исследование изменений фазового состава никель-медного катализатора роста азотсодержащих УНВ (N-УНВ) в процессе реакции разложения этилен-аммиачной смеси под действием высокой температуры. Образец располагали в рентгеновской камере-реакторе Anton Paar XRK-900. Поток газа пропускали через образец со скоростью 0,5 см<sup>3</sup>/сек при температуре от комнатной до 550 °С. Исходный образец восстанавливали непосредственно в камере-реакторе в потоке водорода при температуре 550 °С в течение 15 мин. Рентгенограммы регистрировали последовательно по кадрам со временем экспозиции 0,5-1 мин.

Исходный образец представляет собой смесь двух компонент, одна из которых содержит преимущественно медь, а другая - преимущественно никель. Согласно произведенным оценкам и исходя из закона Вегарда, количество растворенных никеля в меди и меди в никеле примерно 15-20 %. В процессе активации катализатора и последующей реакции разложения этилен-аммиачной смеси катализатор претерпевает ряд превращений. Судя по характеру рентгенограмм, основные изменения в катализаторе касаются никель-содержащей компоненты, тогда как медь-содержащая компонента слабо подвержена преобразованию. Проведенные эксперименты показывают, что в процессе реакции происходит увеличение параметра решетки никель-обогащенного сплава, по-видимому, вследствие растворения в нем углерода и азота, образовавшихся в результате термолиза исходных реагентов (Рис.(6.2)14). При охлаждении катализатора до температуры 440-450 °С наблюдается образование новой фазы неизвестного состава. Повторный нагрев этой фазы до температуры 550 °С приводит к ее исчезновению и возврату катализатора в прежнее состояние. При этом не происходит образования фазы карбида никеля.

В случае использования в качестве катализатора роста УНВ чистого никеля при температуре 550 °С наблюдается смещение рефлексов никеля в сторону больших углов, свидетельствующее об образовании фазы неупорядоченного карбида никеля. Охлаждение катализатора в реакционной среде приводит к упорядочению и образованию фазы стехиометрического карбида никеля.

**2. Исследование восстановления водородом твердых растворов  $Co_{3-x}Al_xO_4$ .** Нанесенные кобальтовые системы представляют интерес как катализаторы синтеза Фишера-Тропша. Предшественником активного компонента катализатора является оксид кобальта  $Co_3O_4$ , который активируется в промышленном реакторе путем восстановления. Исследование процесса восстановления  $Co_3O_4$  представляет интерес для выяснения закономерностей формирования активного состояния катализатора. Для изучения поведения кобальт-содержащих катализаторов при восстановлении часто используют модельные системы – массивные образцы  $Co_3O_4$  и твердые растворы  $Co_{3-x}Al_xO_4$ .

С помощью in situ рентгеновской дифракции исследовался процесс восстановления  $Co_{3-x}Al_xO_4$  (при  $x = 0 - 0,5$ ) и катализатора  $Co_3O_4/\gamma-Al_2O_3$  в токе водорода при температурах до 450° С. Показано, что восстановление твердых растворов происходит в 2 стадии:  $Co_3O_4$  восстанавливается до  $CoO$ , затем до металлического  $Co$  (Рис.(6.2.)15.). Такое же двухстадийное восстановление характерно и для катализатора  $Co_3O_4/\gamma-Al_2O_3$ . При увеличении содержания алюминия в твердом растворе происходит увеличение температуры перехода  $Co_3O_4 \rightarrow CoO$ . Таким образом, введение алюминия препятствует восстановлению оксида кобальта.



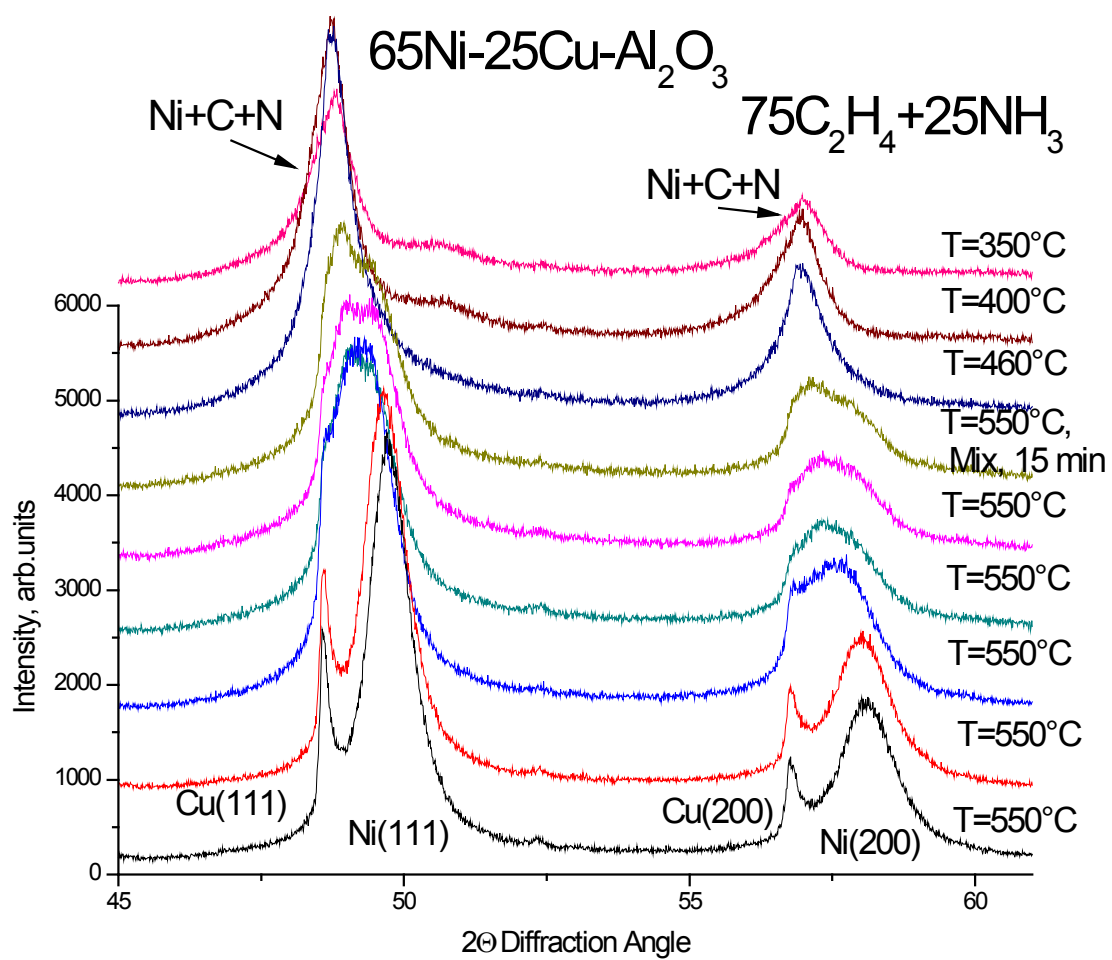


Рис.(6.2)14. Фазовые превращения никель-медного катализатора синтеза УНВ в процессе реакции при различных температурах.

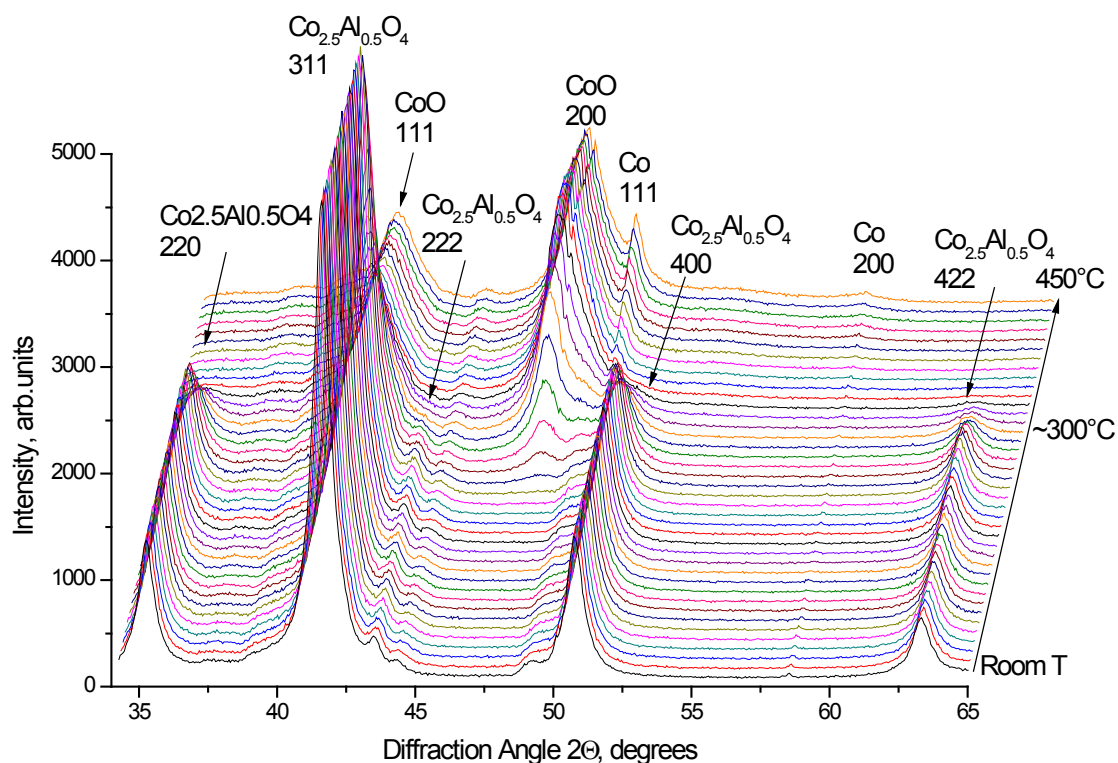


Рис.(6.2)15. Процесс восстановления кобальта из твердого раствора Co<sub>2.5</sub>Al<sub>0.5</sub>O<sub>4</sub> в токе водорода.



### 6.2.5. Станция «Рентгенофлуоресцентный элементный анализ»

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

Участвующие организации:

- Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино;
- Институт общей и неорганической химии РАН, Москва;
- Индийский институт технологий, Кхарагпур, Индия;
- Институт биофизики клетки РАН, Пущино;
- Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск;
- Институт неорганической химии СО РАН им. А.В. Николаева, Новосибирск;
- Региональный институт патологии и патоморфологии СО РАМН, Новосибирск;
- Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск;
- Институт земной коры СО РАН, Иркутск;
- Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск;
- Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул;
- Институт биофизики СО РАН, Красноярск;
- Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск;
- Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск;
- Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск;

В 2010 году работа выполнялась в рамках следующих проектов (грантов):

Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 38, Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 120, Проект №16-17 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Окружающая среда в условиях изменяющегося климата: экстремальные природные явления и катастрофы», Проект РФФИ № 08-05-00680-а, Проект РФФИ № 09-05-90210-Монг-а.

#### Темы ряда работ 2010 года:

**Экология городов: анализ и оценка с помощью РФА-СИ на примере Новосибирска.** Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00839 и интеграционного проекта №84 Сибирского отделения РАН.

Основные полученные результаты:

- Состав аэрозолей отражает аэрозольное загрязнение за зимний период. Элементный состав листьев берез и тополя – за вегетативный сезон. Снеговая съемка в конце зимы, отбор проб растительности осенью сделают возможным ведение непрерывного круглогодичного экологического мониторинга за экологическим состоянием городской среды.

- Оловокомбинат является источником интенсивного загрязнения городской среды соединениями As, Sn, Tl, Cd, Cu, Zn, Pb, Sb, Bi, Ag, Br, Hg, что отражается на составе почв, растительности и снежного покрова прилегающих районов.

Комплексные инструментальные исследования направленности и периодичности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в геологической истории позднего кайнозоя Сибири для прогноза их изменений в ближайшем будущем.

В связи с наблюдаемыми колебаниями климата на планете, особую значимость приобретают исследования климата прошедших эпох. Для того, чтобы выявить геологические, минералогические и геохимические признаки подобных изменений, хемогенные осадки изучаются целым комплексом методов, в том числе РФА СИ. Изучение элементного состава озёрных осадков необходимо для определения закономерностей изменения относительного содержания элементов в зависимости от окружающей температуры. Установление этих закономерностей и сопоставление их с другими индикаторными признаками позволяет расшифровать «палеоклиматические летописи», определить рубежи смены климатических условий, а также выявить флуктуации более низкого порядка в рамках отдельных периодов похолодания/потепления. Подобные систематические исследования для малых озер Центральной Азии выполняются впервые.

За отчетный период методом рентгенофлуоресцентного анализа было проанализировано более

350 образцов из осадочных разрезов четырех озер Байкальского региона, Читинской области и Барабинской низменности. Серии анализов проводились с шагом 1-2 см, определялись содержания следующего набора элементов: Ca, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pb, As, Th, U. Полученные данные сейчас находятся на стадии обработки и систематизации.

**Реконструкция абсолютных значений среднегодовых температур Алтайского региона на годовой шкале за последние 1500 лет по данным сканирующего РФА микроанализа донных осадков озера Телецкое.** Работа проводилась по междисциплинарному интеграционному проекту СО РАН №92 «Прогноз изменений климата Центральной Азии на основе анализа ежегодных записей в озерных осадках, древесных кольцах и ледниках региона».

В 2010 году в глубоководной части Телецкого озера (Горный Алтай) с теплохода ИВЭП СО РАН отобраны ящичные пробы и новый керн длиной 2 м. Керн вскрыт, задокументирован, измерена влажность, магнитная восприимчивость, изготовлены твердые препараты и проанализированы сканером РФА СИ с шагом 0,1-0,5 мм. Исходные данные были приведены к годичной временной шкале с использованием изотопных датировок по  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{14}\text{C}$  вместе с оценкой скорости по серии определений в Радиоуглеродной лаборатории Познань, Польша. Реконструкция выполнена методом множественной линейной регрессии с обучением функции по метеоданным станции Барнаул за 1840-2004 годах. На рис.(6.2)17 представлена полученная погодно-климатическая реконструкция среднегодовых температур региона на интервале 1500 лет назад в сравнении с набором реконструкций для Северного полушария. Наблюдается хорошее совпадение с глобальными тенденциями и наличие региональных особенностей.

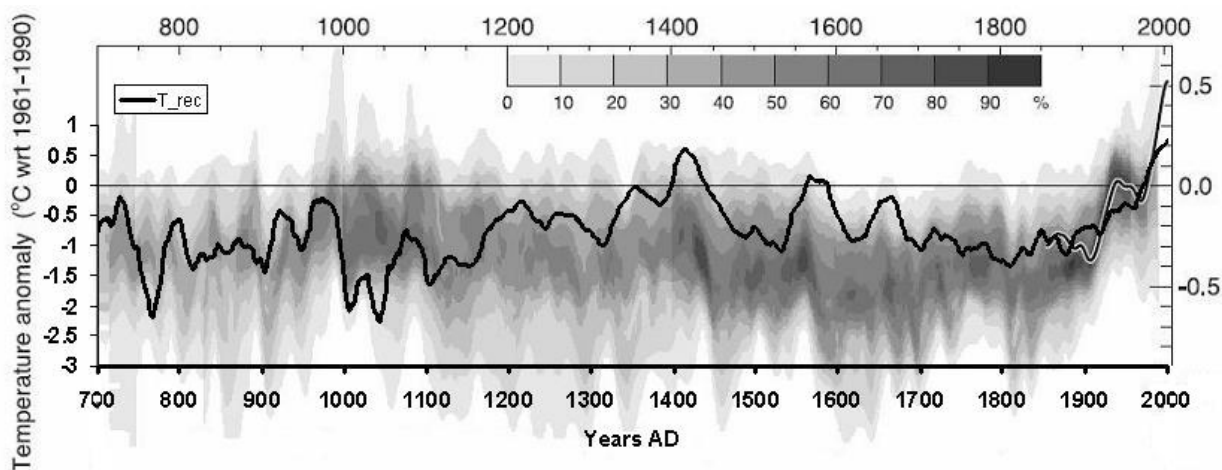


Рис.(6.2)16. График реконструированной температуры (как отклонения от среднего регионального значения за период 1961-1990 годах, жирная линия, левая шкала), сглаженной методом скользящего среднего по 30 точкам, наложен на температурные реконструкции для Северного полушария за 1300 лет (отклонения от среднего, оттенки серого, правая шкала). Отдельная кривая на интервале 1856-2005 годах – инструментальные данные.

Вейвлет (рис.(6.2)17) и Фурье анализ показали наличие следующих основных периодичностей: 750, 480, 250, 72, 58, 40, 22, 13 и 8 лет.

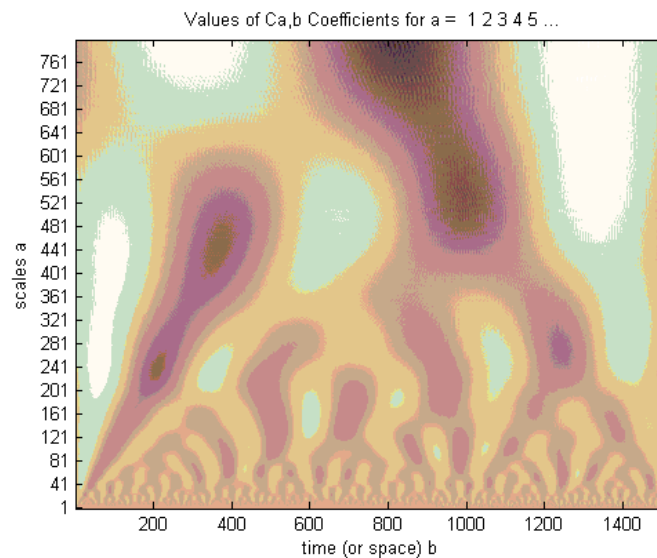


Рис.(6.2)17. Непрерывное Вейвлет-преобразование реконструированных температур.

**Проведение поисковых научно-исследовательских работ в области оценки биобезопасности нанобъектов в зависимости от элементного состава и размеров в центре коллективного пользования научным оборудованием «Генофонды лабораторных животных» Института цитологии и генетики СО РАН. Государственный контракт с Роснаукой «2009-07-5.2-00-09-027».**

В результате выполнения проекта разработан комплексный подход, состоящий из способов и методов предварительной оценки и прогнозирования вероятных последствий контакта наноконпонентов с организмом человека и другими живыми объектами. Комплексный подход включал: Анализ распределения наночастиц в организме мыши методами атомно-эмиссионной спектроскопии, рентгенофлуоресцентного анализа, магнитно-резонансной томографии и лазерной сканирующей конфокальной микроскопии. Разработаны различные способы экспозиции животных наночастицами – внутривенные и внутрибрюшинные инъекции, кожные и интраназальные аппликации, экспозиции аэрозолями с различными концентрациями наночастиц.

В селезенке подопытных животных обнаружено накопление наночастиц золота и Таркосила, что хорошо согласуется с формирующимися в настоящее время представлениями о том, что наночастицы не являются биологически нейтральными и вовлекаются в иммунорегуляторные процессы. Показано, что применение атомно-эмиссионной спектроскопии и рентгенофлуоресцентного анализа позволяет с высокой эффективностью выделять органы и ткани – потенциальные мишени для наноразмерных материалов.

Краткий перечень других наиболее значимых работ, выполненных и выполняемых на станции РФА-СИ:

Разработка научных и технологических основ мониторинга и моделирования природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота. Работа проводилась по междисциплинарному интеграционному проекту №66.

Рентгенфлуоресцентные исследования природных и биотехнологических конструкций шелка. Работа проводилась в рамках гранта РФФИ № 09-04-92663-ИНД\_а «Изучение внеклеточных фибриллярных биополимеров – волокон природного шелка, белкового каркаса шелка и протеогликановых фибрилл как слизи, так и межклеточного матрикса ткани».

Изучение макро- и микроэлементного состава археологических образцов, которые представляют собой фрагменты тканей, шерсти, волос, растений, почв из могильников Княжьих гор, Ноин-Ула (Монголия). Работа проводилась в рамках гранта РФФИ №10-06-00406-а «Волосы из древних погребений, как объект междисциплинарного исследования (изучение останков носителей культуры хунну)».

Региональные климатические изменения в голоцене и позднем плейстоцене и их индикаторы. Геохимические индикаторы изменения условий осадконакопления и климата в голоцене и

позднем плейстоцене.

В рамках реализации проекта был исследован керн донных отложений оз. Хубсугул GC-46. Содержание биогенного кремнезема в данном керне изменяется от 1,42 до 7,24 % в интервале 47-75 см, тогда как в интервале 0-47 см – от 9,00 до 24,52 %. Учитывая содержание биогенного кремнезема в донных отложениях, верхние 48 см керна GC-46 можно отнести к голоцену, интервал 48-75 см – к сартанской стадии позднеплейстоценового оледенения. Сопоставление полученных данных по элементному составу с содержанием  $\text{SiO}_{2\text{bio}}$  показало ряд элементов отражающих переход от голоцена к оледенению.

Кроме того, для оценки правильности результатов исследования донных отложений проведен элементный анализ следующих стандартных образцов: донный ил озера Байкал (БИЛ-1), донные отложения озера Байкал (БИЛ-2), карбонатный фоновый ил (СГХ-1), терригенный фоновый ил (СГХ-3), травосмесь луговая (Тр-1), элодея канадская (ЭК-1). Работа проводилась в рамках грантов: РФФИ № 09-05-90710 и РФФИ № 08-05-98108-р\_сибирь\_a.

Биогеохимия стратифицированных органогенных болотных и озерных отложений (торф, сапрпель) и геохимические барьеры на пути потоков химических элементов из атмосферы. Работа проводилась в рамках гранта РФФИ № 08-05-000392.

Создание временной модели осадочных записей климата в озере Шира (Хакасия) на основе подсчета годичной слоистости, изотопных определений, глобальных и региональных событий. Работа выполнена при поддержке проекта ПФИП РАН 16.17. «Реконструкция последовательности событий аридизации климата Центральной Азии и Сибири в позднем кайнозое на основе комплексного исследования озерных и торфяных отложений»

### 6.2.6. Станция «Дифрактометрия с использованием жесткого рентгеновского излучения»

Станция предназначена для *in situ* дифракционных исследований структуры материалов в условиях физических и химических воздействий.

Участвующие организации:

- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск;
- Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск;
- Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск;
- Институт геологии и минералогии, Новосибирск;
- Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург;
- Физико-технический институт, Ижевск.

В 2010 году работы проводились при финансовой поддержке СО РАН и РФФИ:

1. Проект СО РАН, выполняемый совместно со сторонними научными организациями, № 138 "Создание фундаментальных основ воздействия активаций на регулирование процессов взаимодействия твердых металлов и их соединений с металлическими расплавами с целью создания функциональных материалов с заданной структурой и свойствами".

2. Грант РФФИ № 10-08-00945-а «Материалы, фазы и состояния с улучшенными термоэлектрическими свойствами при сверхсильном сжатии».

3. Грант РФФИ № 08-03-00738-а «Селективная кислородная проницаемость нестехиометрических наноструктурированных перовскитов».

#### Темы работ 2010 года:

1. Исследование процессов взаимодействия в условиях высоких температур металлов и сплавов, находящихся в твердом (Cu, Ni, Co) и жидком состоянии (Sn, In, Bi, и их эвтектические расплавы).

2. Исследование процессов контактного плавления и эвтектической кристаллизации на основе двух- и трехкомпонентных систем между Sn, In, Bi.

3. Исследования морфологии ВВ, а также изменений структуры ВВ в условиях статического высокого давления.

4. Исследования фазовых превращений в микропористых силикатах при высоких давлениях и температурах.

5. Исследование структуры и физико-химических свойств высокодисперсного парацетамола в процессе получения методом вакуумной сушки замороженных растворов в системе ацетон-вода-парацетамол.
6. Исследование метастабильных фаз высокого давления в системе глицин-вода.
7. Исследование изменений кристаллической структуры в кристаллах на основе теллурида висмута под давлением 10-20 ГПа.
8. Исследование формирования структурно-фазового состава нанокмпозитов  $\text{Fe}(\text{Fe}_3\text{C}, \text{Fe}_5\text{SiC})\text{SiO}_2$  в процессе механосинтеза.
9. Исследование структурных превращений при циклировании электродных материалов в литий-ионных аккумуляторах методом *in situ* дифракции СИ.

**1. Исследование структурных превращений при циклировании электродных материалов в ЛИА методом *in situ* дифракции СИ.**

В ходе циклирования литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) реализуются различные механизмы внедрения/экстракции ионов лития в/из структуры электродных материалов, определяющие их электрохимические свойства. Изменение размеров частиц, модифицирование и т.п. приводит к изменению механизма процессов. Так, железо-фосфат лития ( $\text{LiFePO}_4$ ) характеризуется двухфазным механизмом (в каждой точке заряда-разряда присутствует начальная и конечная фаза). Двухфазный механизм лимитирует движение границы раздела фаз, что является следствием низкой взаимной растворимости и медленной миграции носителей заряда, что негативно сказывается на технических характеристиках ЛИА. Уменьшение размеров частиц приводит к увеличению областей образования твердых растворов. Как показали дифракционные исследования в процессе заряда ЛИА, частичная замена двухфазного механизма на однофазный достигается при частичном замещении  $\text{Fe}^{2+}$  на  $\text{Mn}^{2+}$ .

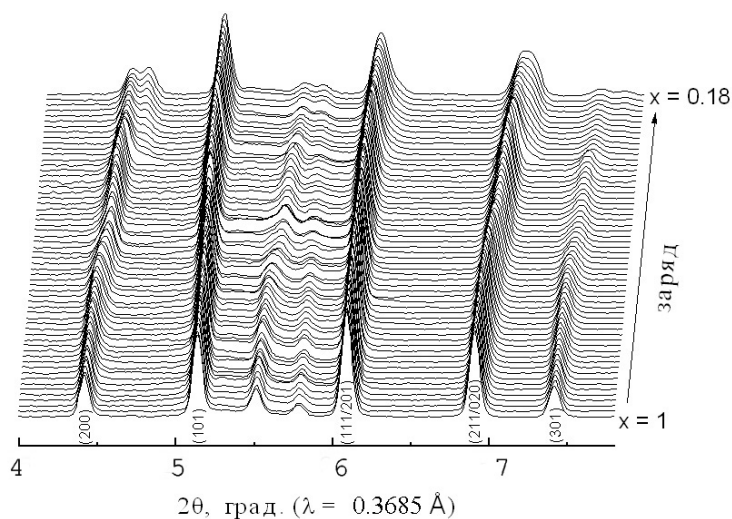


Рис.(6.2.)18. Зарядно-разрядная кривая.

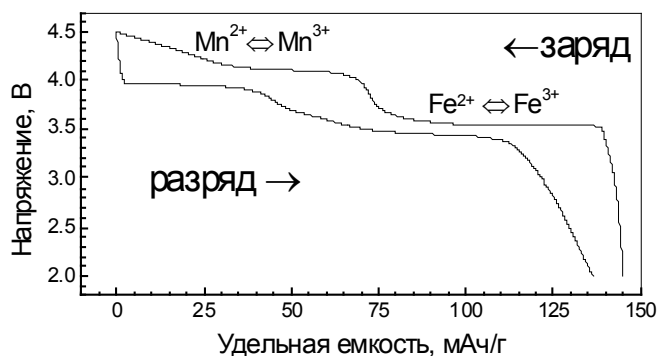


Рис.(6.2.)19. Дифрактограммы полученные в ходе заряда ЛИА.



## 2. Исследования процессов контактного плавления и эвтектической кристаллизации и разработка технологии контактного терморективного плавления бессвинцовыми припоями.

Контактное плавление и эвтектическая кристаллизация используются в технической практике очень давно. Но, несмотря на длительность использования этих процессов, непротиворечивой предсказательной теории этих явлений не существует. Очевидно, что процессы, происходящие на границе раздела твердой и жидкой фаз, обратимы, и следовательно являются разными проявлениями одного и того же явления. Большая часть исследований процессов контактного плавления и особенно эвтектической кристаллизации проведена с использованием различной микроскопической техники на застывших образцах. Дифракционные исследования также, в основном, проводились либо на застывших образцах, либо на расплавах вблизи точки плавления. При этом сам процесс контактного плавления и эвтектической кристаллизации оставался вне рамок эксперимента. Совершенствование экспериментальной техники, особенно создание высокоинтенсивных источников синхротронного излучения и двухкоординатных детекторов позволило производить дифракционные исследования *in situ*. Были проведены исследования контактного плавления и последующей эвтектической кристаллизации в системах In-Sn и Bi-In.

На рис.(6.2)20 представлены фрагменты дифракционных картин, полученных при плавлении кристаллизации в системе Bi-In.

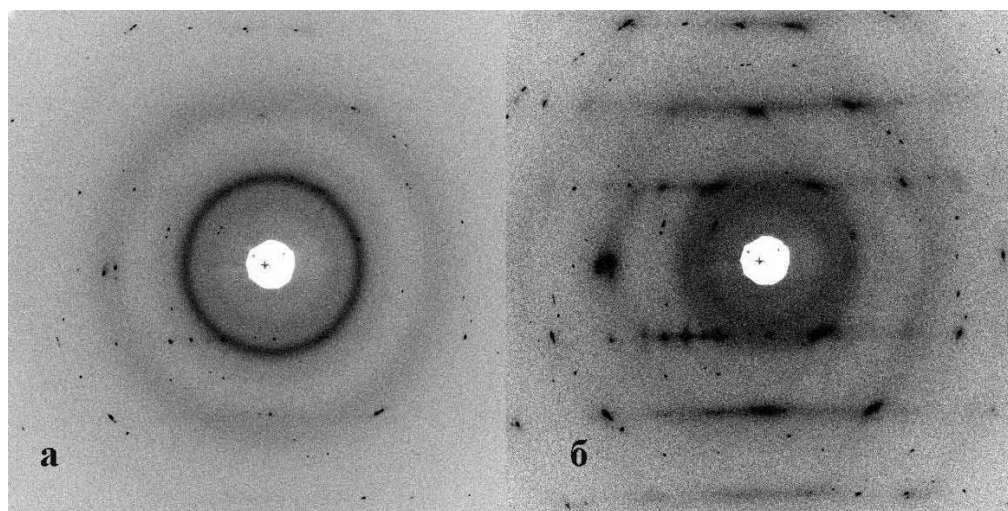


Рис.(6.2)20. Фрагменты дифракционных картин, полученных в процессе эвтектической кристаллизации: а - через 5 мин. после начала кристаллизации; б - через 12 мин. после начала кристаллизации.

Из вида дифракционных картин можно сделать вывод, что в зоне кристаллизации сформировался бикристалл, в котором фаза индия имеет по всей вероятности вид пластин, а фаза  $\text{BiIn}_2$  в виде игл или включений. Нахождение брегговских рефлексов на полосах диффузного рассеяния свидетельствует о когерентных границах между фазами.

Из результатов исследований видно, эвтектические сплавы являются естественными композиционными материалами, отличающимися по своим физико-химическим характеристикам от других сплавов. Используя термовременную выдержку и химическое взаимодействие с другими веществами, можно разработать технологию контактной терморективной пайки.

Замена традиционных типов припоев на материалы, не содержащие свинца, является не только веянием времени, но и требованием многочисленных международных комиссий по экологии. Система In-Sn является системой эвтектического типа, с температурой эвтектики  $119^\circ\text{C}$ . В ней установлено наличие двух интерметаллических фаз  $\text{In}_3\text{Sn}$  и  $\text{InSn}_4$  с широкими областями гомогенности. При приведении в контакт олова и индия при температурах выше  $119^\circ\text{C}$  в зоне контакта образуется жидкая фаза (температуры плавления индия и олова  $156^\circ\text{C}$  и  $232^\circ\text{C}$  соответственно). Используя на соединяемых деталях покрытия индия и олова с отношением толщины 1:4 можно получить паяное соединение при температурах от  $120$  до  $150^\circ\text{C}$ . При этом после необходимой выдержки распайка может быть произведена при температурах выше  $180^\circ\text{C}$ .

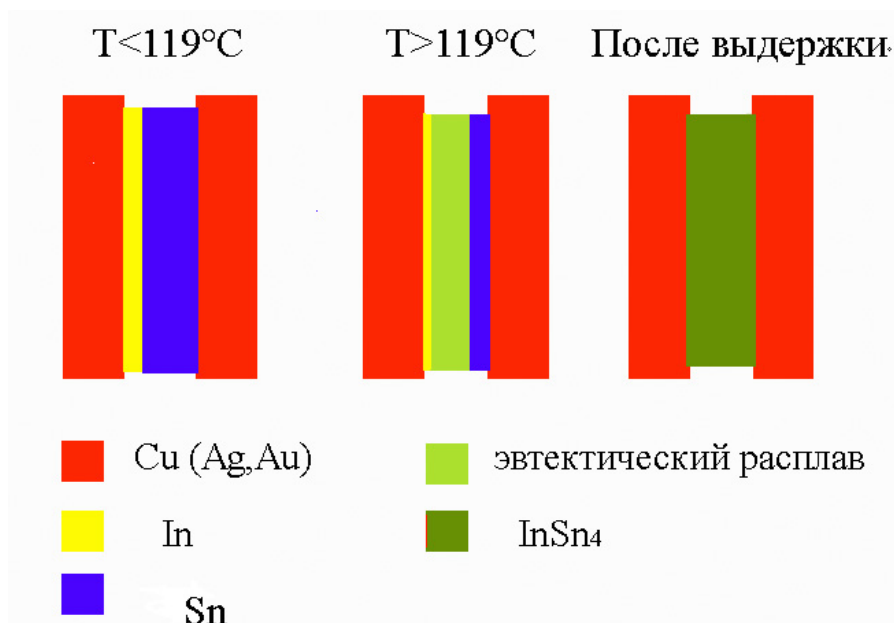


Рис.(6.2)21. Схема процесса контактной термореактивной пайки с использованием системы In-Sn.

Надо заметить, что пайка будет производиться только в местах контакта, в других местах жидкая фаза не образуется. В некоторых случаях контактная термореактивная пайка может оказаться более технологичной, чем пайка волной припоя.

### 6.2.7. Станция «Рентгеновская микроскопия и томография»

Станция «Рентгеновская микроскопия и томография» предназначена для исследования трехмерной структуры образцов с высоким пространственным разрешением.

Участвующие организации:

- Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск;
- Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск;
- Институт гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск;
- Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск;
- Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск.

#### Темы работ 2010 года:

- Исследование морфологии природных алмазов методом рентгеновской топографии.
- Исследование ростовых дислокаций в синтетических алмазах методом рентгеновской топографии.
- Получение данных о трехмерной структуре образцов взрывчатых веществ и ракетного топлива методом вычислительной рентгеновской томографии (ВРТ) с высоким пространственным разрешением.
- Исследование археологических находок неразрушающим методом ВРТ.
- Контроль качества рентгеношаблонов для LIGA-технологии.

Работы проводилась в рамках:

1. Гранта РФФИ № 09-05-00985-а «Зонально-секториальное строение алмазов из кимберлитовых месторождений Якутии как отражение эволюции условий их образования».
2. Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 51 "Влияние среды на морфологию, реальную структуру и изотопный состав углерода алмаза".

На станции используется монохроматическое рентгеновское излучение с длиной волны  $\lambda=1,13 \text{ \AA}$ , выделяемое из непрерывного спектра СИ с помощью монохроматора на основе монокристалла кремния с рабочей плоскостью [111]. Коллиматор стоящий перед образцом, служит для отсеечения паразитных отражений монохроматора и формирует пучок с геометрическими размерами  $2 \times 2$

мм<sup>2</sup>. Для выставки образца используется прецизионная механика, обеспечивающая перемещение по линейной координате с точностью не хуже 1 мкм и по углу с точностью 0,001°. Для повышения пространственного разрешения получаемых изображений применяется «Bragg magnifier», основанный на увеличении линейных размеров рентгеновского пучка при отражении от кристаллов с асимметричным срезом. Увеличенное изображение регистрируется высокочувствительным рентгеновским детектором на базе CCD матрицы. Матрица (4008×2670) с размером одного пикселя 15,5×15,5 мкм обеспечивает регистрацию сигнала с динамическим диапазоном 16 бит, позволяя получать высококачественные изображения при секундных экспозициях.

Совместно с Институтом геологии и минералогии СО РАН продолжаются работы по изучению морфологии природных алмазов из кимберлитовых трубок и россыпей Якутской алмазоносной провинции. С помощью метода рентгеновской топографии (РТ) мы получаем данные о дефектах, связанных с нарушениями строения кристаллической решетки алмаза. Возможности топографической установки позволяют регистрировать изображения алмаза как в прошедшем, так и в отраженном под Брэгговским углом излучении рис.(6.2)22.

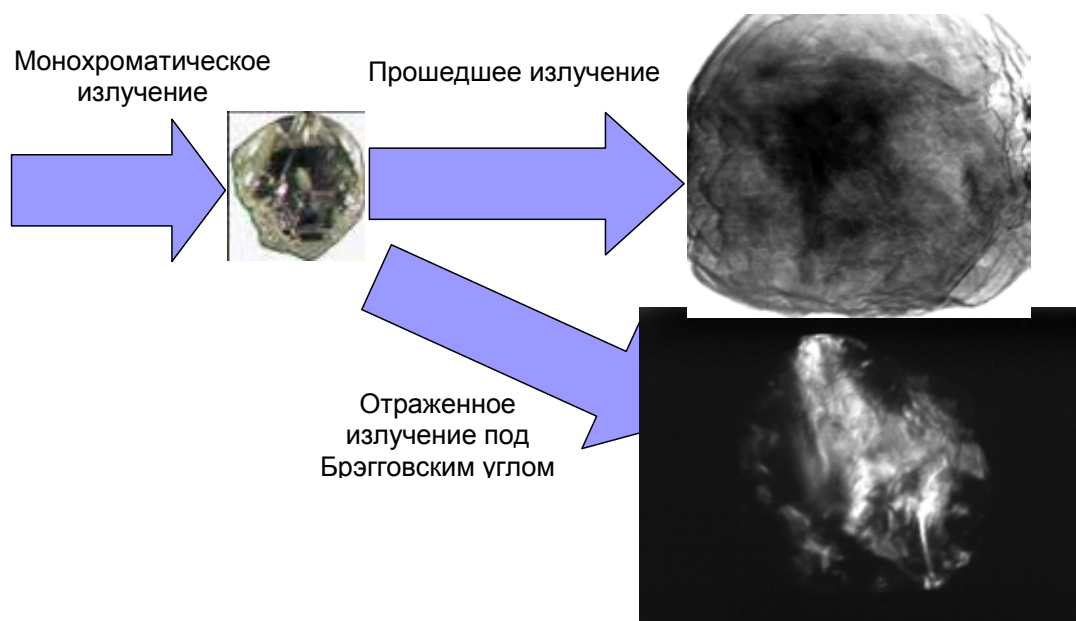


Рис.(6.2)22. Изображения алмаза в прошедшем и в отраженном под Брэгговским углом излучении.

Экстремально низкое поглощение в алмазе рентгеновского излучения, обусловленное низким атомным весом углерода и выбранной рабочей длиной волны, позволяет получить качественные изображения дефектов кристаллической структуры в прошедшем излучении. При регистрации в прошедшем излучении мы получаем смесь изображений, обусловленных поглощением рентгеновского излучения в кристалле и ослаблением интенсивности вследствие Брэгговского отражения рис.(6.2)23.

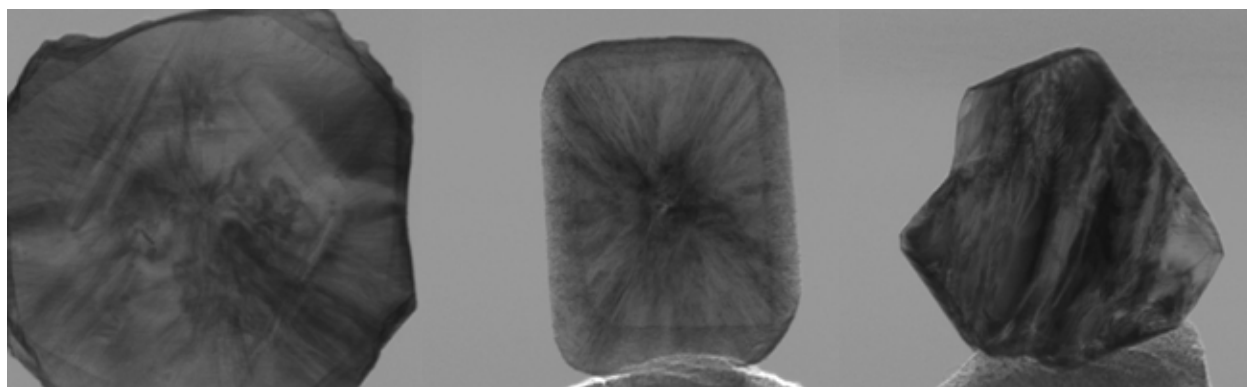


Рис.(6.2)23. Топограммы алмазов с различной морфологией, снятых в прошедшем излучении.

В этом случае мы можем хорошо соотнести внутреннюю неоднородность кристаллической решетки по отношению к геометрии самого кристалла. Однако при более тщательной характеристике морфологии кристалла бывает необходимо получать информацию, не искаженную изображением дефектов поверхности и размерами кристалла. В этом случае регистрация в отраженном излучении позволяет регистрировать изображение, определяемое только дефектами кристаллической структуры алмаза рис.(6.2)24.



Рис.(6.2)24. Топограммы алмазов с различной морфологией, снятые в отраженном излучении.

Следует отметить, что съемка в отраженном излучении сопряжена с рядом трудностей возникающих при юстировке установки, и занимает достаточно продолжительное время в отличие от предыдущей схемы, занимающей несколько секунд. Поэтому съемка в отраженном пучке проводится в основном для уникальных образцов, представляющих особый интерес.

Совместно с группой, работающей на станции «LIGA-технология и рентгеновская литография», проводятся исследования по характеристике рентгеношаблонов, изготавливаемых в нашем институте рис.(6.2)25.

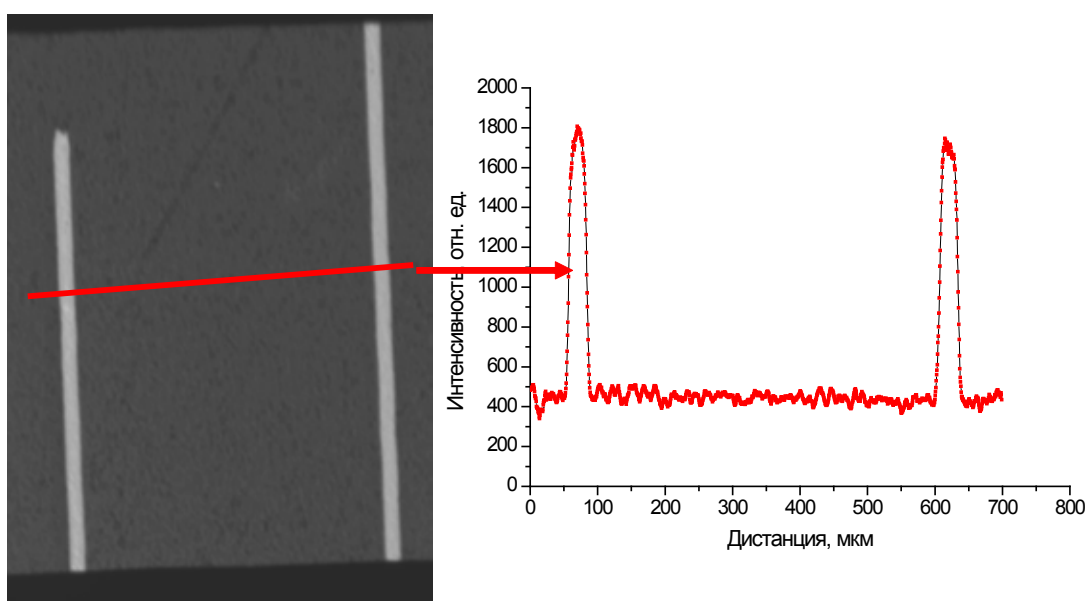


Рис.(6.2)25. Изображение рентгеношаблона и профиль интенсивности рентгеновского излучения вдоль линии.

Исследование трехмерной структуры энергетических материалов (ЭМ) с помощью метода вычислительной рентгеновской томографии (ВРТ) позволяет оценить их качество изготовления на основе объемного распределения плотности в изучаемом объекте. Наличие неоднородностей и пор влияет на скорость горения и распространения детонационного фронта, являясь важным параметром при изготовлении ЭМ.

На рис.(6.2)26. изображены томографические срезы (толщиной 3 мкм) образцов ЭМ, полученных при различной температуре кристаллизации.



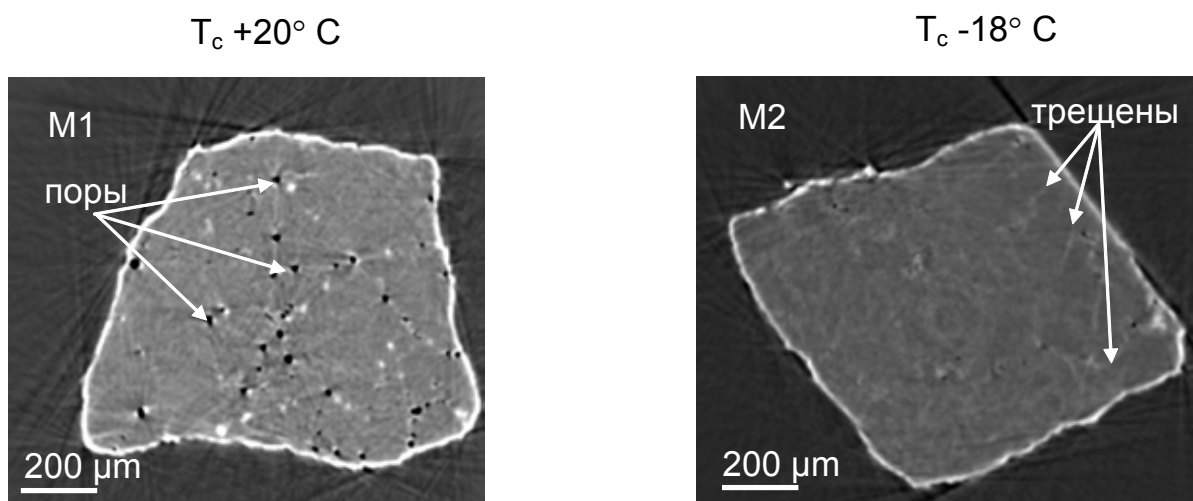


Рис.(6.2)26. Образцы ЭМ на основе смеси FTDO/DNP, полученные при различной температуре кристаллизации.

Из полученных данных хорошо видно, что образец M1 полученный при температуре +20 °С, имеет более пористую структуру по сравнению с образцом M2, полученным при более низкой температуре.

С использованием ВРТ были проведены исследования по определению возраста комплексов, содержащих древесину приемлемой сохранности. В ходе археологических исследований накоплен значительный материал, представляющий массовые серии разнообразных деревянных предметов (украшения одежды и конской сбруи, оружие, посуда и другая бытовая утварь и пр.). Зачастую древесина представлена небольшими изделиями, а не крупными образцами погребальных конструкций.

Одно из главных препятствий заключается в невозможности исследовать изделия из дерева обычными способами, которые применимы в дендрохронологии и, в первую очередь предполагают отбор образцов в виде поперечных спилов или кернов, либо необходимую подготовку соответствующей плоскости, а значит, связаны с разрушающим воздействием на объект исследования. По понятным причинам, в отношении археологических предметов это невозможно в силу их уникальности и музейной ценности.

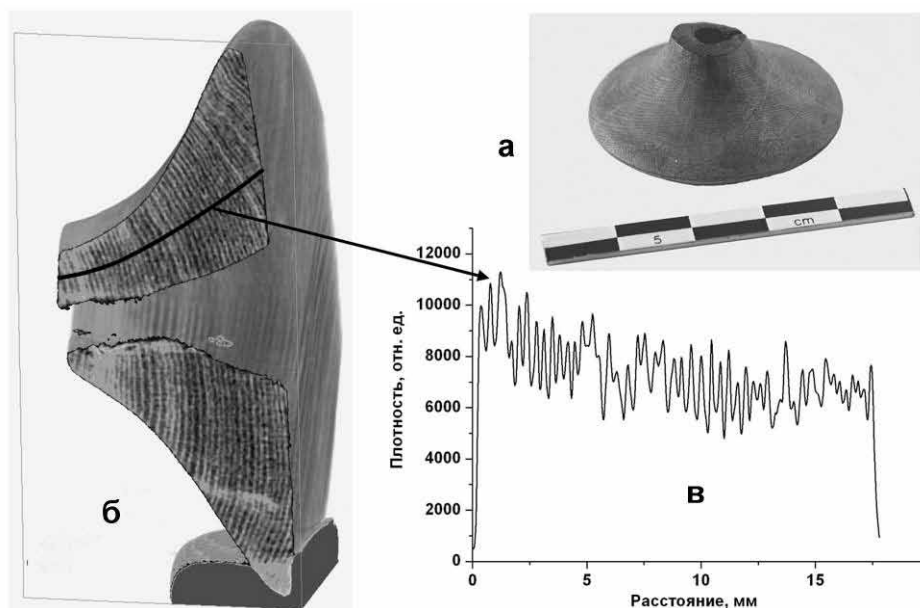


Рис.(6.2.)27. Исследование деревянного изделия методом вычислительной рентгеновской томографии: а – общий вид колчанной бляхи; б – поперечный разрез предмета с обозначенным радиусом измерения; в – кривая плотности, отражающая изменчивость ширины годичных колец.



Трехмерное изображение, полученное с помощью ВРТ, позволяет выполнить виртуальный разрез предмета в любой требуемой плоскости (рис. (6.2)27), в том числе его поперечное сечение, которое обычно используется для фиксации ширины годичных колец. Существующие программные продукты позволяют измерить значения ширины колец и, в итоге получить требуемые для древесно-кольцевого анализа данные в их обычном формате – в виде числового ряда или графической кривой. Все дальнейшие процедуры, связанные с использованием этих данных, происходят уже с участием привычных инструментов дендрохронологического исследования: индивидуальные ряды сравниваются между собой, а затем перекрестно датируются по обобщенным древесно-кольцевым хронологиям памятников или длительным абсолютным дендрошкалам.

### 6.2.8. Станция «Дифракционное кино»

Станция предназначена для исследований структурных и фазовых превращений в твердых телах в процессе химических реакций методами рентгеновской дифрактометрии. После установки двухкоординатного детектора МагССД станция используется и для исследований методом дифрактометрии монокристаллов. Применение 2D детектора позволяет изучать малые количества вещества, а также образцы, имеющие ярко выраженную текстуру.

Участвующие организации:

- Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск;
- Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск;
- Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск.

В 2010 году работы проводились при финансовой поддержке СО РАН и РФФИ:

1. Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 13 «Развитие в СО РАН рентгеноструктурного анализа биологически важных объектов».

2. Гранты РФФИ 08-03-00335-а, 10-03-00451-а, 08-03-00119-а.

**Темы работ 2010 года:**

1. Развитие в СО РАН рентгеноструктурного анализа биологически важных объектов (Институт катализа СО РАН).

2. Исследование формирования фазового состава нанесённых Pd- и Ag- катализаторов, приготовленных методом поверхностного самораспространяющегося термосинтеза (Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск).

3. Катализаторы Pd/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/стеклоткань, приготовленные методом ПСТ, в реакции селективного гидрирования C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> до C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. (Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск)

#### 1. Нанесенные катализаторы

Активность катализаторов определяется как их составом, так и способом приготовления, а гидродинамические свойства – их геометрической формой. Появление носителей на основе стеклотканей (СТ) и метода поверхностного самораспространяющегося термосинтеза (ПСТ) открывает возможность получения образцов с улучшенными каталитическими и гидродинамическими свойствами.

К сожалению, *in situ* исследование динамики фазового состава при ПСТ катализаторов не всегда возможно. Поэтому была разработана методика определения фазовых превращений, основанная на быстром закаливании фронта твердофазного горения с последующим сканированием области фронта при перемещении образца под пучком коллимированного синхротронного излучения.

Во фронте беспламенного горения протекают химические, физические и физико-химические процессы, обеспечивающие в своей совокупности необходимое тепловыделение. Фронт состоит из ряда зон, каждая из которых имеет определенную протяженность: зона прогрева, где осуществляется теплоперенос и нагрев образца, а также частичное разложение топливной добавки – ЗП; зона основной реакции – ЗР; зона догорания, где продолжаются химические реакции, но они уже не влияют на скорость распространения фронта – ЗД; зона вторичных физико-химических превращений, определяющих состав и структуру конечных продуктов – ЗВП.

Цель данной работы – исследовать методом рентгенофазового анализа СИ формирование фа-

зового состава катализаторов Pd/СТ, Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/СТ, Ag/SiO<sub>2</sub>/СТ и Ag/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/СТ.

В качестве носителей для Pd-катализаторов использовали СТ марки КС-151-ЛА, содержащую ~10 % ZrO<sub>2</sub>, и эту же СТ, модифицированную γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (14 % от массы носителя). Реагенты – Pd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, лимонная кислота или глюкоза. Содержание Pd составляло 1 % от массы носителя.

Носитель Ag-содержащих катализаторов представляет собой кремнезёмную стеклоткань ажурного плетения марки КС-11-ЛА без специальных добавок, модифицированную оксидами SiO<sub>2</sub> или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10 % от массы носителя). В ходе приготовления образцов варьировали содержание серебра (от ~7 до ~20 % масс.), при этом содержание Ag на единицу поверхности изменялось в интервале 0,01-0,03 г<sub>Ag</sub>/м<sup>2</sup>. Эксперименты проводили с образцами в виде фрагмента стеклоткани (нити), зафиксированной на специальном держателе. Сканировали с шагом 0,5-2,0 мм перпендикулярно распространению фронта. Регистрацию сигнала производили на просвет. Выбор и контроль точки регистрации осуществляли гониометром “mardtb” с помощью встроенной видеокамеры. Регистрацию дифрактограмм производили двухкоординатным детектором MarCCD SX-165.

На Рис.(6.2)28 приведена последовательность дифрактограмм для образцов Pd/СТ (а, б), Ag/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/СТ (в) и Ag/SiO<sub>2</sub>/СТ (г).

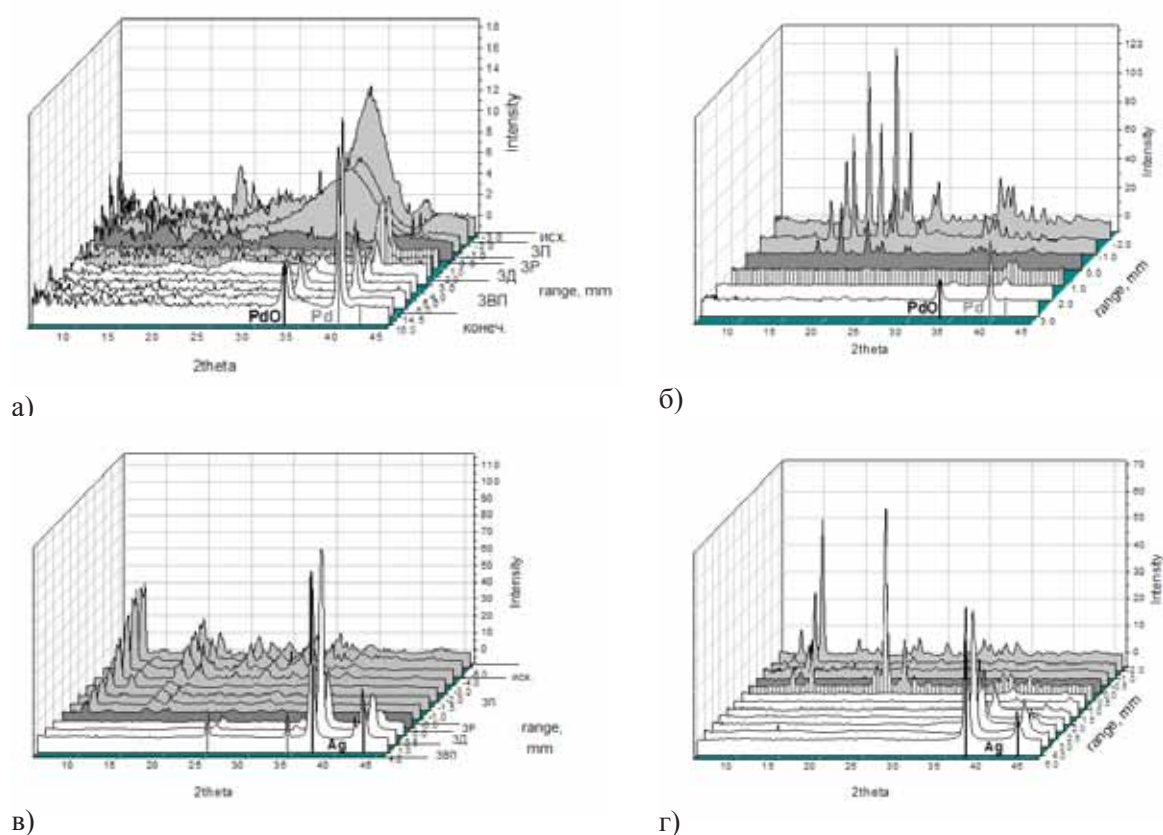


Рис.(6.2)28. Динамика фазовых превращений при ПСТ катализаторов:  
а) 1%Pd/СТ с ГЛ, б) 1%Pd/СТ с ЛК, в) 7%Ag/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/СТ, г) 20%Ag/SiO<sub>2</sub>/СТ .

Полученные данные позволили определить протяжённость ЗП, ЗД и ЗВП, фазовый состав ЗД и ЗВП, а также изменение размера ОКР фаз ЗВП. Для образцов Pd/СТ (Рис.(6.2)28, а) и Ag/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/СТ (Рис.(6.2)28, в) указаны соответствующие зоны фронта. Также установлено, что для образцов Pd/СТ параметры ПСТ определяются природой топливной добавки: для образца, где использовали глюкозу, зона вторичных превращений на порядок протяжённее, чем для образца с лимонной кислотой. Для образцов Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/СТ и Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/СТ фазы PdO и Pd на дифрактограммах не фиксируются, что, по-видимому, связано с очень высокой дисперсностью этих фаз. Для образцов Ag/SiO<sub>2</sub>/СТ и Ag/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/СТ дифракционные картины предшественников близки, что позволяет предположить, что для них предшественники активного компонента существуют в одинаковой форме.

## 2. Первые эксперименты с биологическими кристаллами

Одной из задач современной кристаллографии является определение пространственной структуры как исходных белков, так и их комплексов с другими белками или молекулами (рецепторами). Это необходимо, например, для установления механизмов действия лекарственных веществ. В рамках реализации интеграционного проекта на канале 5б была смонтирована установка, состоящая из двухкоординатного детектора MarCCD SX-165 на гониометре mardtb и криогенной приставки (рис.(6.2)29). Биологические объекты исследуются при температуре 100 К, что необходимо для обеспечения их стабильности. Кроме того, низкие температуры уменьшают амплитуду тепловых колебаний, что приводит к увеличению пространственного разрешения при восстановлении структуры.

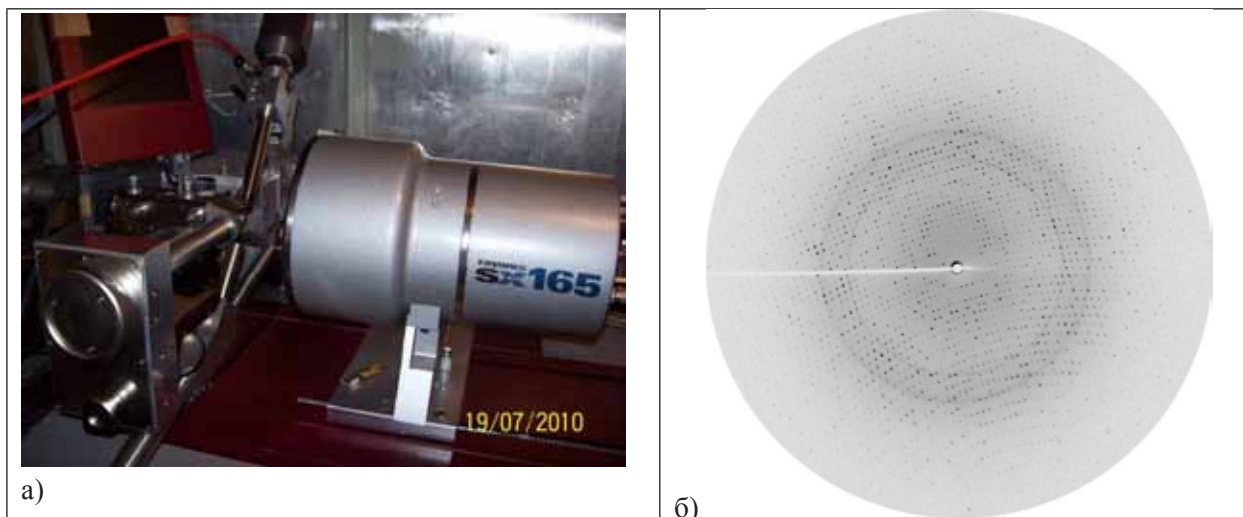


Рис.(6.2)29. Фотография экспериментальной станции (а) и дифракционная картина от кристаллов бета-галактидазы (б).

Для отработки методики на текущий момент ведется работа с тестовыми кристаллами. На рис.(6.2)29 представлена дифрактограмма от кристаллов бета-галактидазы. Ведется освоение программного обеспечения и обработка данных.

### 6.2.9. Станция «EXAFS-спектроскопия»

Назначение станции – исследование структуры локального окружения атомов избранного химического элемента (координационное число, межатомные расстояния). В зависимости от применяемой методики анализируются объем, поверхность либо поверхностные слои.

Всего за 2010 год на станции EXAFS-спектроскопии исследовано более 200 образцов, снято более 500 спектров. Опубликовано и принято к печати более пятидесяти публикаций, включая статьи в рецензируемых журналах (более 20), статьи в сборниках трудов конференций и тезисы докладов конференций.

Участвующие организации:

- ИК СО РАН;
- ИНХ СО РАН;
- ИХФ РАН, Москва;
- ИОНХ РАН, Москва;
- Ростовский Государственный Университет;
- ИНЭОС РАН, Москва;
- Институт нефтехимического синтеза РАН, Москва;
- Институт проблем переработки углеводородов СО РАН (ИППУ СО РАН);
- Саратовский Государственный Университет;
- ИХКиГ СО РАН;

- ИХТТМ СО РАН;
- Лимнологический институт СО РАН, Иркутск;
- Hahn-Meitner-Institut, Berlin, Germany;
- Институт физики полупроводников СО РАН;
- Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Germany;
- Institute of High Temperature Processes & Chemical Engineering, Patras, Greece;
- Institute of Chemistry: Humboldt University, Berlin, Germany;
- Ohldeburg University, Ohldeburg, Germany;
- Институт Угля и Углекислоты, Кемерово;
- Институт Электрохимии, Москва;
- Институт геологии и минералогии СО РАН;
- Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург;
- Åbo Akademi University, Turku, Finland;
- University of Oulu, Oulu, Finland;
- Удмуртский Государственный университет, Ижевск;
- Физико-Технический Институт УрО РАН, Ижевск;
- Centro de Nanociencias y Nanotecnologia, UNAM, Ensenada, B.C., Mexico, Мексика;
- Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Spain;
- Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla, Spain.

В 2010 году работы проводились при поддержке проектов:

Работы проводились в рамках проектов РФФИ (08-03-00861а), РФФИ (09-03-00369а), РФФИ (09-03-00346а), РФФИ (09-03-00780а), РФФИ (08-02-00404а), РФФИ (08-03-01016а), РФФИ (08-03-00823а), РФФИ (09-03-90424-Укр\_ф\_а), РФФИ (09-03-00089а), РФФИ (09-03-00133а), РФФИ (09-03-00328а), РФФИ (АФ-080391758а), РФФИ (08-03-92502-ИЦНИЛа), ФАНИ (контр.№ 02.513.11.3203), ТОТАЛ, РФФИ (09-03-00514а), Президиума РАН (20, 21, 27), РФФИ (09-05-98019а), РФФИ (08-02-00404а), РФФИ (08-03-00603а), РФФИ (09-03-00780а), РФФИ (09-03-00346а), РФФИ (09-03-00540а), РФФИ (08-03-00335а), РФФИ (09-03-01013а), DGAPA-PAPIIT - IN 1207063.

Основные направления и краткие результаты работ 2010 года:

**Развитие методик для исследования ультраразбавленных и поликомпонентных наносистем сложного состава.**

Показаны возможности метода флуоресцентной XAFS-спектроскопии с использованием новой многоэлементной системы детектирования для исследования наноразмерных систем сложного состава. Регистрация XAFS спектров по флуоресцентному выходу с энергетическим разрешением позволяет исследовать образцы с предельно низкой концентрацией (менее 0,1 %) и нанометровые нанесенные системы. Получены первые результаты по использованию детектора и программного обеспечения для исследования гетеро-металлических наноструктурированных катализаторов, геологических образцов, тонких пленок и субмонослойных покрытий.

**Исследование модельных моно и биметаллических катализаторов преобразования промышленно-важных субстратов (метан, этилен).**

Для модельных биметаллических Pd-Me (Me = Co, Ce, Zn) каталитических наносистем риформинга метана, нанесенных на оксидные носители (мембраны), комплексом физико-химических методов, использующих синхротронное излучение, таких как XAFS, РФА, РФЭС, выполнено исследование генезиса и структурных особенностей формирования активного компонента. Синтез палладийсодержащих катализаторов проводился по оригинальным методикам на основе моно- и биметаллических ацетатных и поликарбоксилатных комплексов металлов, при варьировании условий обработки и использовании оксидных носителей различной природы. Подробно рассмотрены возможные варианты структурных моделей при стабилизации палладийсодержащей нанофазы для биметаллических катализаторов в сравнении с монометаллическими аналогами.

Методами XAFS спектроскопии, рентгеновского аномального рассеяния и РФА выполнено комплексное исследование генезиса и структурных особенностей модельного медноникелевого- $\text{Al}_2\text{O}_3$  катализатора в процессе разложения этилена в присутствии аммиака. Установлено, что разложение этилена, в данном случае, происходит через образование сложной нанофазы “NiCu-



CuNz<sup>2</sup>». Показана перспективность применения данного катализатора для синтеза азотсодержащих углеродных наноматериалов с заданными характеристиками.

**Исследования нанокompозитных тонких пленок и пространственно-коррелированных наноструктур на основе полупроводниковых соединений изоэлектронного ряда германия.**

Проведено исследование тонких пленок и наноструктур германия, стабилизированных на различных гладких и пористых подложках (SiO<sub>2</sub>, Si, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.). Образцы были получены методом термического испарения порошка материала в сверхвысоком вакууме, что позволило обеспечить высокую химическую чистоту образцов в широком диапазоне температур конденсации. Были выполнены АСМ, ПЭМ, РФА СИ и EXAFS-исследования морфологии поверхности и локальной атомной структуры объема пленок и наноструктур германия. Было показано, что сплошные тонкие пленки имеют смешанный аморфно-нанокристаллический состав, тогда как нитевидные наноструктуры германия состоят преимущественно из мелких аморфных кластеров. Установлено, что процентные доли аморфной и кристаллической фаз зависят от температуры конденсации. Найдено, что зависимость размеров зерен для образцов, полученных при температуре конденсации 100 °С, не вполне соответствует классической линейной зависимости.

Методами EXAFS, рентгеновской дифракции на СИ и СЭМ исследованы наноструктуры ZnS и ZnSe, полученные напылением материала на пористые пленки анодного оксида алюминия. Температура матрицы при напылении составляла 0-150 °С. Исходя из комплексного анализа данных установлено, что наноструктуры состоят из смеси вюрцитной и сфалеритной фаз материала, но преимущественный рост происходит в кристаллографическом направлении (111) структуры типа ВЗ (сфалерит). С увеличением диаметра пор наблюдается рост наноструктур в виде «колец», что свидетельствует о возможном механизме заполнения пор матрицы от стенки к центру.

**Комплексные исследования низкопроцентных (от ~ 1 %) наноструктурированных катализаторов нового поколения на основе благородных металлов (Pt, Au, Pd).**

Выполнено исследование стабилизированных поверхностных форм Pt в низкопроцентных монодисперсных платиновых катализаторах, нанесенных на оксидные носители различной природы (углерод, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>), методами XAFS, РФЭС, ПЭМВР. В настоящее время нанесенные платиновые каталитические системы находят широкое применение в окислительно-восстановительных процессах с участием СО и/или углеводородов. Очевидно, что достоверная информация о состоянии активного компонента и стабилизации его различных поверхностных форм позволит оптимизировать методы приготовления и активации катализаторов с определенными структурно-функциональными характеристиками, что приведет к повышению эффективности каталитической системы. Нанесенные монодисперсные катализаторы готовились из безхлоридных предшественников методом сухой или влажной пропитки оксидных носителей. Для обеспечения контроля и регулирования размеров частиц нанесенного металла проводились различные предобработки носителей и варьировался состав пропиточных растворов. Зарядовое состояние активного компонента и поверхностный элементный состав катализаторов изучены методом РФЭС, морфология и размер наночастиц платины определены по данным ПЭМВР. С помощью XAFS исследована структура локального окружения и состояние платины в исследуемых образцах. Предложена методика оценки фазового состава с учетом нано-размерных эффектов и изменения степени окисления металла активного компонента по данным XAFS, РФЭС и ПЭМ. Показано влияние природы носителя на морфологию и фазовый состав наночастиц активного компонента, представляющих собой высокодисперсные дефектные оксидные или многофазные металл-оксидные системы.

Проведено исследование модельных низкопроцентных золотосодержащих каталитических систем перспективных для процессов окисления СО и метана. Катализаторы были приготовлены нанесением Au на наноразмерные смешанные оксиды алюминия, церия и циркония, приготовленные методом золь-гель, из металлоорганических соединений этих металлов. На основании анализа данных комплекса методов XANES, EXAFS, ПЭМВР, ЭСДО, РФЭС установлено, что возможно существование различных форм стабилизации золота на поверхности носителя, в зависимости от типа модификатора и предыстории образца. Показано, что восстановление в водороде до температур 150-200 °С не приводит к образованию значительного вклада ионов Au(1+) и кластеров металлического золота. По-видимому, для исходных и восстановленных в мягких условиях образцов практически все золото находится в виде ионов Au(3+), локализованных на поверхности носителя



в незначительно искаженной кислородной октаэдрической координации. Дальнейшее повышение температуры восстановления до 400 °С приводит к образованию металлических наночастиц золота размером около 1-3 нм.

Выполнено исследование модельных низкопроцентных (менее ~0,5 %) катализаторов Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, методами XAFS и ЭПР. В настоящее время подобные катализаторы представляют значительный интерес для обезвреживания автомобильных выхлопов и выбросов промышленных газов. Методом XANES установлено, что палладий в исследованных образцах находится преимущественно в виде ионов Pd(2+) в плоскоквадратном ближайшем кислородном окружении. Наличие металлической фазы Pd<sup>0</sup> в пределах точности метода не обнаружено. Методом EXAFS проведено детальное исследование особенностей локальной структуры активного компонента для образцов с различной предисторией. Показана возможность целенаправленного варьирования состояния сформированных на поверхности Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> оксидных наноструктур палладия от атомарно-диспергированного до наночастиц PdO и рассмотрены возможные варианты их структурных моделей. Методом ЭПР показана важная роль донорных центров поверхности Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в стабилизации атомарно-диспергированных ионных форм палладия.

### **Исследование перспективных катализаторов переработки продуктов ферментации биомассы в компоненты биотоплив.**

Выполнено исследование состояния металлов и их локального окружения методом XAFS спектроскопии перспективных каталитических наносистем W-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Pd-Zn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, используемых для получения фракции алканов и олефинов C<sub>4</sub>-C<sub>12+</sub> - компонентов топлив из продуктов ферментации биомассы. В последнее время значительное внимание уделяется поиску альтернативных высокоэффективных путей развития энергетики, на основе возобновляемых ресурсов. Одним из возможных путей может быть переработка возобновляемой биомассы в энергоносители. Ряд спиртов (этанол, бутанол, изопентанол и др.), являющихся продуктами ферментации биомассы, могут служить компонентами топлив, как в чистом виде, так и после каталитической переработки, которая обеспечивает получение более эффективных и качественных топливных компонентов. Исходные образцы катализаторов были приготовлены золь-гель методом на основе моно- и биметаллических оксометилатов и карбоксилатов металлов II-VII групп на оксидный носитель γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Для всех исследуемых систем наблюдается значительное диспергирование активного компонента по поверхности носителя. При формировании Pd-Zn системы происходит образование поверхностных смешанных оксидов ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, тогда как Pd находится преимущественно в виде наночастиц оксида PdO, размер которых зависит от концентрации и присутствия второго Me. Для W-Re системы показано сильное взаимодействие активного компонента с носителем Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, с образованием искаженных структур: WO<sub>x</sub>, W-O-Al, ReO<sub>y</sub>, (ReO<sub>3</sub>)<sub>алс</sub>-O-Al. Обнаружено, что локальное окружение катализаторов полученных из биметаллических предшественников, имеет некоторые отличия от такового в случае образцов, синтезированных на основе моносоединений. Детально охарактеризован генезис исследуемых наносистем, показана взаимосвязь их каталитических свойств и структуры.

### **Комплексное исследование нанесенных золотых катализаторов, используемых для тонкого органического синтеза и экологического катализа.**

Методами EXAFS, XANES, TEM, EDX, XPS выполнено комплексное исследование низкопроцентных золотосодержащих каталитических наносистем, нанесенных на оксид алюминия. Детальное исследование природы различных форм стабилизации золота, необходимо для разработки новых эффективных катализаторов для различных приложений. Данные наносистемы перспективны для промышленно важных процессов тонкого органического синтеза и задач экологического катализа - окисления вторичных спиртов и CO. При синтезе катализаторов варьировался способ приготовления (золь-гель, ионный обмен, пропитка), температуры прокали, методы активации и модификации носителя. Найдено, что активный компонент состоит преимущественно из металлической дефектной нанофазы Au<sup>0</sup>. Установлена корреляция между размерами, морфологическими и структурными особенностями золотых наночастиц и каталитической активностью в реакции селективного окисления вторичных спиртов.

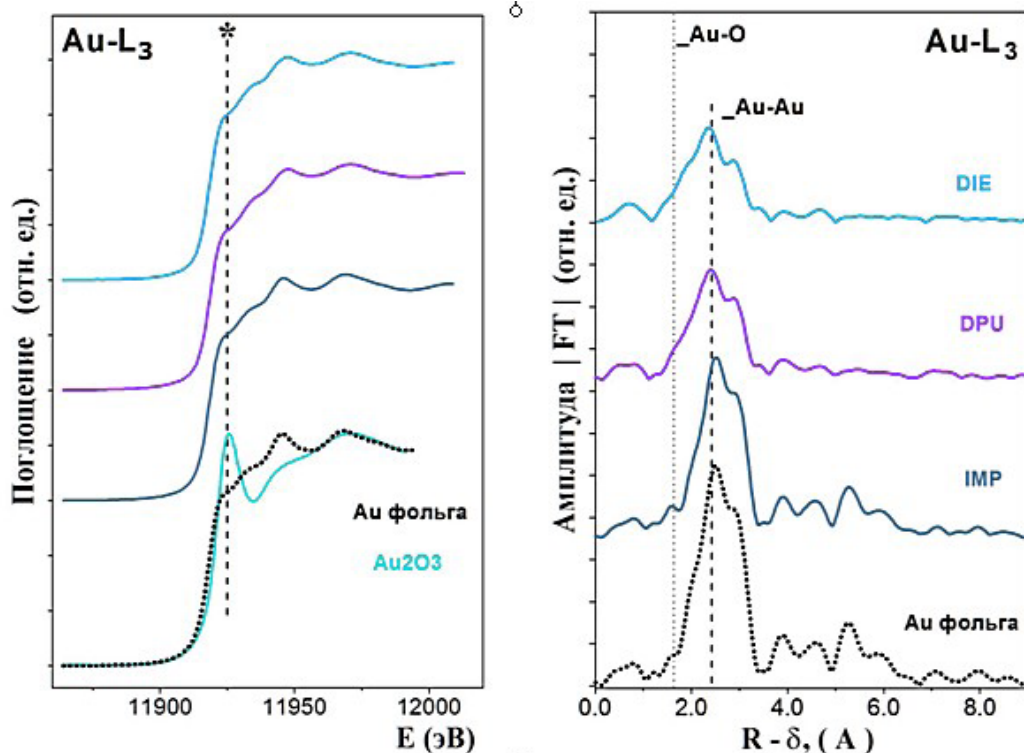


Рис.(6.2)30. Спектры XANES ( $Au-L_3$  край, \* - белая линия) и функции радиального распределения атомов (РРА) локального окружения золота для исследованных образцов и реперов.

### 6.2.10 Применение 9-канального ПД для флуоресцентной XAFS-спектроскопии.

Более 20 лет в СЦСИ для регистрации XAFS спектров успешно использовалась система детектирования сигнала флуоресценции, отсекающая сигнал упруго/неупруго рассеянных фотонов с помощью Z-1/Z-2 фильтра. Однако данный метод регистрации не позволяет исследовать наноразмерные системы с достаточно сложным элементным составом и низким содержанием по исследуемому элементу ( $\sim 0,5\%$  и менее). Для наносистем, включающих близко расположенные химические элементы и/или содержащих “тяжелую матрицу”, а также ультраразбавленных образцов необходимо использовать детектор с достаточно хорошим энергетическим разрешением для выделения сигнала флуоресценции только исследуемого элемента.

Для комплексного решения данной задачи на станции EXAFS спектроскопии (8 канал СЦСИ) были проведены работы по запуску, наладке и вводу в эксплуатацию уникального 9-элементного детектора компании Canberra (Рис. (6.2)31).

С целью обеспечения более высоких параметров измерений решена проблема согласования детектора с быстродействующим цифровым спектрометрическим трактом компании XIA. Разработана система программного обеспечения, позволяющая проводить настройку системы детектирования и регистрацию флуоресцентных XAFS спектров в счетном режиме.

Для оценки возможностей метода флуоресцентной XAFS-спектроскопии с помощью новой системы детектирования были проведены исследования тестовых образцов. Показана перспективность данного подхода, получены первые результаты по использованию детектора и программного обеспечения для исследования нанесенных катализаторов сложного состава, ультраразбавленных систем и геологических образцов.

Проведенные работы:

1) Выполнено исследование  $\sim 0,1-0,2\%$  Pd модельных тестовых катализаторов, нанесенных на “тяжелую Ce-Zr матрицу” (очистка газовых выбросов). Показана перспективность используемого подхода, получена новая информация о локализации Pd кластеров на  $CeO_2$  (Рис.(6.2)32, (6.2)33).

2) Проведено исследование модельных тестовых  $Pt/Al_2O_3$  низкопроцентных образцов. На при-

мере данной наносистемы показана возможность получения достоверных данных о локальной структуре в разбавленных системах с содержанием не более  $\sim 0,05\%$  по исследуемому элементу (Рис.(6.2)34, (6.2)35).

3) Выполнено предварительное исследование геологических образцов - конгломерат бактерий и плесени, накапливающих соединения германия, из геотермальных источников (о. Байкал,  $\sim 50$  ppm по Ge). Показана перспективность подхода, получены новые данные о ближайшем окружении Ge (Рис. (6.2)36).



Рис.(6.2)31. 9-элементный детектор компании Sanbeга установленный на 8 канале СЦСИ (станция EXAFS спектроскопии).

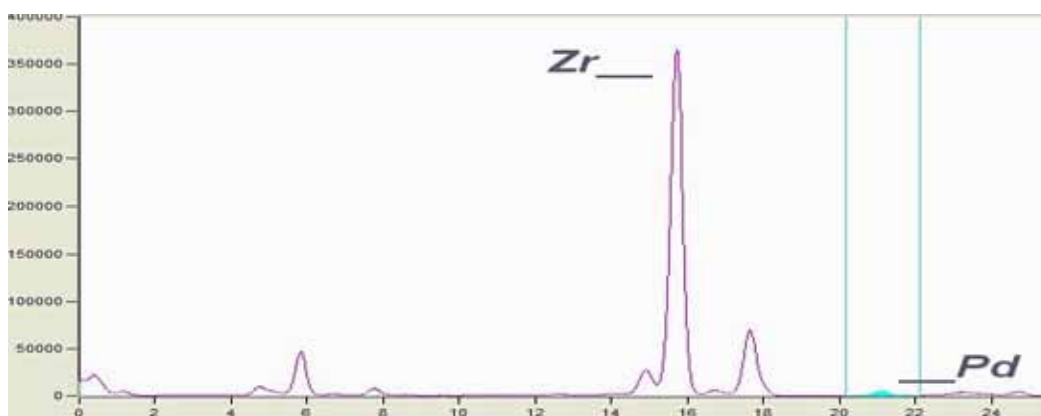


Рис.(6.2)32. Энергетический спектр для наносистемы  $\sim 0,2\text{Pd} - 20\% \text{Ce-ZrO}_x/\text{Al}_2\text{O}_3$ .

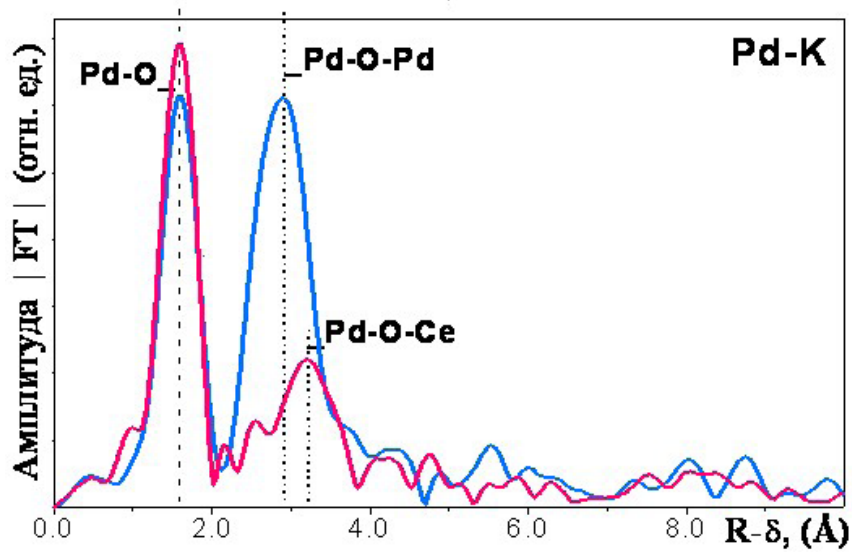


Рис.(6.2)33. Кривые радиального распределения атомов локального окружения палладия для исследованных образцов  $\sim 0,2\text{Pd}-20\%\text{Ce}-\text{ZrO}_x/\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\sim 1\%\text{Pd}/\text{Al}_2\text{O}_3$  - репер.

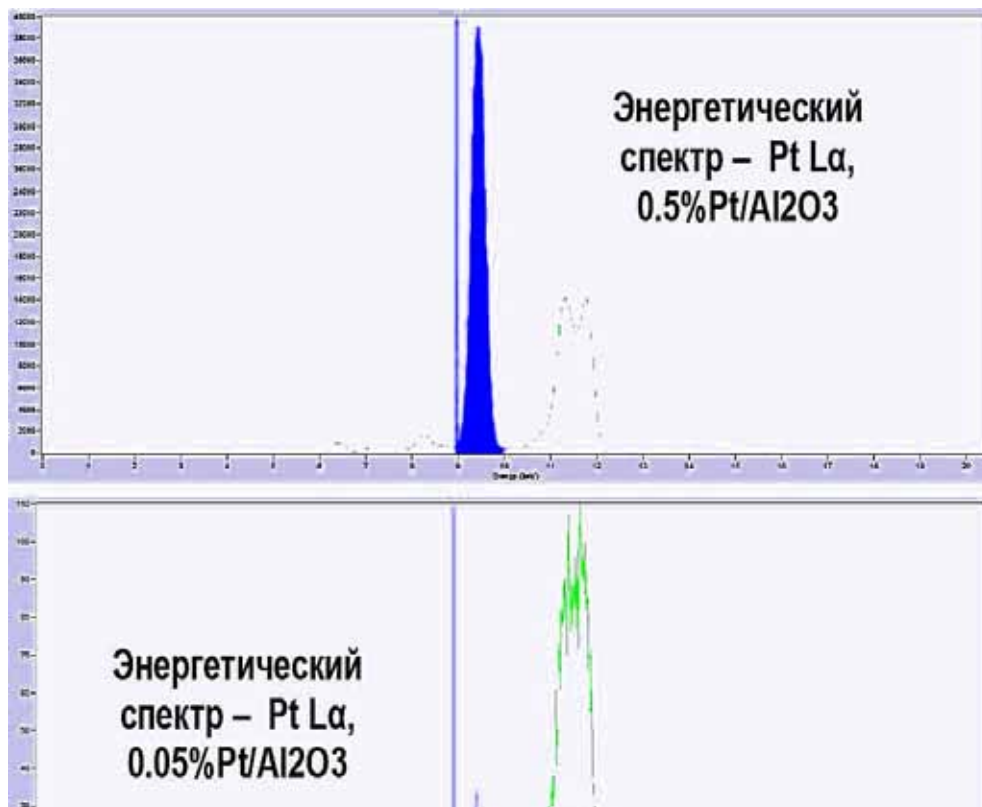


Рис.(6.2)34. Энергетический спектр для образцов  $\sim 0,5\%\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\sim 0,05\%\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ .

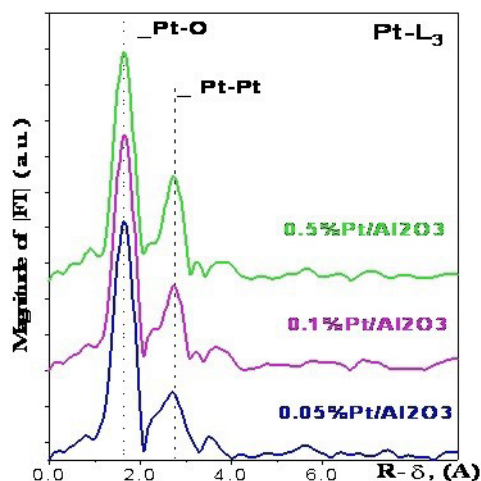


Рис.(6.2)35. Кривые радиального распределения атомов локального окружения платины для исследованных модельных тестовых платиновых образцов.

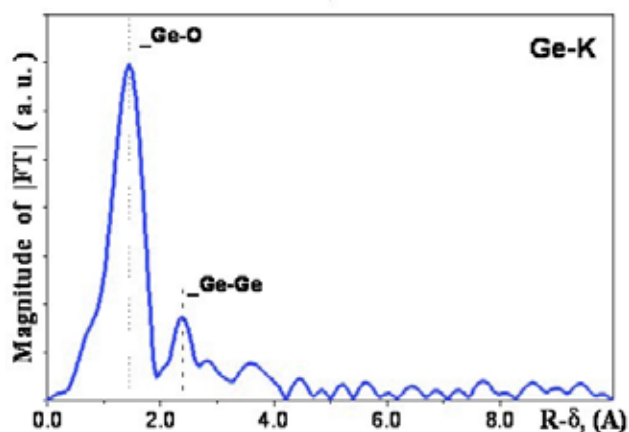


Рис.(6.2)36. Кривые радиального распределения атомов локального окружения германия для исследованных геологических образцов - конгломерат бактерий и плесени, накапливающих соединения германия, из геотермальных источников. (о. Байкал, ~ 50 ppm по Ge).

## 6.3 Работы на пучках СИ из ВЭПП-4М

### 6.3.1 Станция «Космос»

Станция предназначена для проведения метрологических измерений в мягком рентгеновском и ВУФ спектральных диапазонах (10-1000 эВ). Станция расположена в бункере СИ ВЭПП-4 и получает излучение поворотного магнита № 3 в северной вставке накопителя ВЭПП-4М (канал вывода излучения №10).

Участвующие организации:

- Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров;
- Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина, Снежинск;
- Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук, Москва;
- Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург;
- Федеральное государственное унитарное предприятие «ГОИ им. С.И.Вавилова», Санкт-Петербург.



В 2010 году на станции проводились контрактные работы по калибровке кремниевых фотодиодов в спектральном диапазоне 100-1000 эВ. Заказчик - РФЯЦ ВНИИТФ, Снежинск.

Примеры работ 2010 года:

### 1. Построение модельной функции чувствительности для кремниевого фотодиода.

С 1990-х годов развитие технологии изготовления кремниевых фотодиодов позволило создать детекторы приемлемого радиометрического качества для ВУФ и мягкого рентгеновского диапазонов. Коммерческая доступность, временная стабильность, достаточно высокая временная и радиационная устойчивость, простота в обращении сделали эти детекторы наиболее удобными приборами для регистрации излучения в мягком рентгеновском спектральном диапазоне. Однако, в области энергий фотонов 100 - 1000 эВ спектральная чувствительность детекторов нуждается в регулярной калибровке, поскольку на нее влияют многочисленные факторы - от метода изготовления детектора до появления тонких пленок на приемном окне детектора, появившихся в процессе эксплуатации. Проведение калибровки детекторов в МР диапазоне является достаточно сложной задачей, требующей серьезного аппаратного и методического обеспечения.

В рамках дальнейшей разработки методического обеспечения была отработана методика построения аналитической функции чувствительности полупроводникового детектора по набору калибровочных точек. По объективным причинам проведение калибровки любого детектора возможно только на конечном числе точек энергетического спектра. Построение аналитической функции позволяет корректно интерполировать экспериментальные данные между экспериментальными точками. В основу формулы заложена физическая модель детектора, учитывающая его структуру и технологию изготовления. На станции «Космос» в качестве эталонного детектора используется кремниевый фотодиод, прокалиброванный в германском национальном метрологическом центре РТВ. Модельная функция чувствительности диода представляется в параметрическом виде:

$$S = \frac{1}{w} \exp\left(-\frac{d_c}{\lambda_c} - \frac{d_{SiO_2}}{\lambda_{SiO_2}} - \frac{d_B}{\lambda_B}\right) \left[ \exp\left(-\frac{d_{Si}}{\lambda_{Si}}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{d_{Si}}{\lambda_{Si}}\right)\right) + \sigma_s \left(1 - \exp\left(-\frac{d_{Si}}{\lambda_{Si}}\right)\right) \right]$$

где  $S$  – чувствительность детектора,  $w$  – энергия образования электрон-дырочной пары в кремнии (3,6 эВ),  $d_i \sigma_s$  - параметры, по которым происходит оптимизация модели под экспериментальные результаты,  $\lambda_c, \lambda_{SiO_2}, \lambda_B, \lambda_{Si}$  - табличные значения оптических констант материалов, входящих в состав детектора. Модельная функция такого вида описывает данные калибровки с точностью не хуже 1 % и дает возможность непрерывной интерполяции данных калибровки на участке спектра 50-1800 эВ:

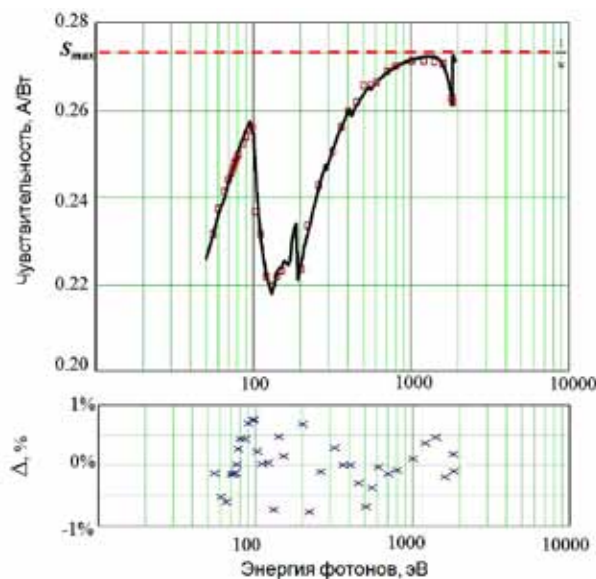


Рис.(6.3)1. Верхний график: Экспериментальные данные калибровки эталонного детектора (квадратики) и аппроксимация этих данных (сплошная линия). Горизонтальной пунктирной линией на графике отмечен уровень максимально достижимой чувствительности для кремниевого фотодиода ( $S_{max}$ ). Нижний график: отличие данных калибровки от функции аппроксимации, %. Все данные находятся в коридоре погрешности  $\pm 1\%$ .

## 2. Исследование зонной характеристики вторично-электронного множителя ВЭУ-6

Зонная характеристика (распределение эффективности детектора по площади его входного окна) является весьма важной эксплуатационной характеристикой детектора. Измерения проводятся путем сканирования детектором относительно зондирующего монохроматического пучка. Поперечный размер зондирующего пучка составлял  $200 \times 200$  мкм<sup>2</sup>. Измерения проводились для энергии фотонов 268 эВ и для двух разных напряжений питания диодной системы ВЭУ-6.

$$U_{\text{пит}} = 2$$

$$U_{\text{пит}} = 2.4$$

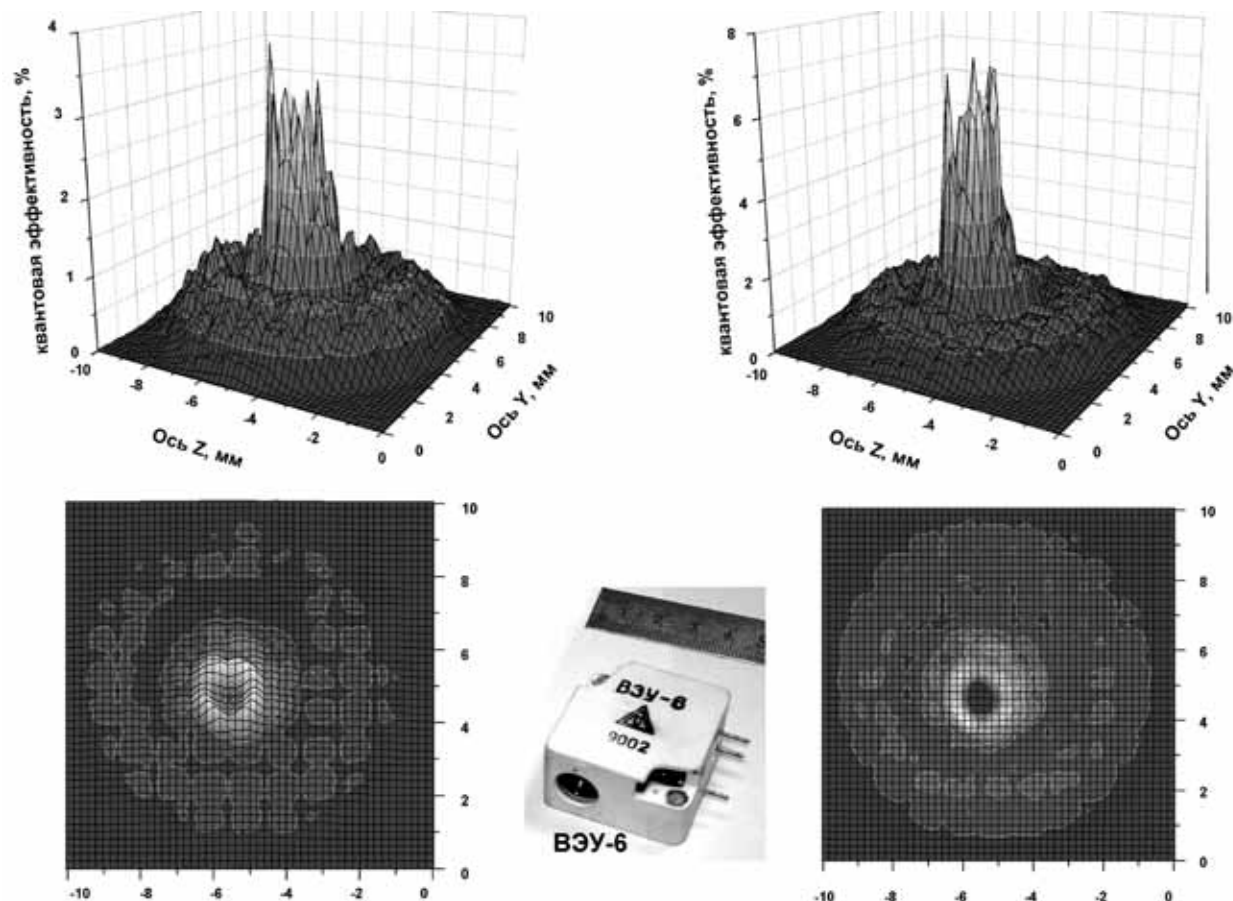


Рис.(6.3)2. Зонные характеристики ВЭУ-6 на энергии фотонов 268 эВ и напряжениях питания диодной системы 2 кВ и 2,4 кВ

Наблюдается сильная неоднородность зонной характеристики умножителя. Форма - воронкообразная, с резким возрастанием от периферии к центру окна детектора. В центре окна, на площадке размером около 1 мм<sup>2</sup>, вновь наблюдается резкий провал чувствительности, практически до нулевого значения. При повышении напряжения питания диодной системы возрастает общая эффективность регистрации и наблюдается усиление неоднородности. Следует ожидать существенной зависимости зонной характеристики ВЭУ-6 от угла падения на него регистрируемых фотонов. Таким образом, абсолютная калибровка ВЭУ-6 имеет смысл только в составе готового измерительного прибора с жестко фиксированными коллиматорами излучения, обеспечивающими воспроизводимость геометрии измерений.

## 3. Изготовление рентгеновских фильтров

Для получения метрологически качественного монохромата на станции «Космос» используются тонкопленочные свободновисящие фильтры. Фильтр, как правило, представляет собой тонкую (от 0,2 до 5 мкм) пленку металла, наклеенную на специальную оправку. Поскольку такой фильтр является весьма хрупкой и недолговечной конструкцией, возникла задача изготовления таких фильтров собственными силами. В 2010 году была отработана методика получения однокомпонентных фильтров из нескольких металлов (Cu, Ti, Al, Mo) толщиной от 0,3 до 1,5 мкм с рабочей площадью  $5 \times 10$  мм<sup>2</sup>. Пленка металла наносится электронно-лучевым или магнетронным способом

на специально подготовленную подложку (со слоем углерода в качестве антиадгезива либо водорастворимой солью на поверхности) с последующим отделением и приклейкой к оправке.

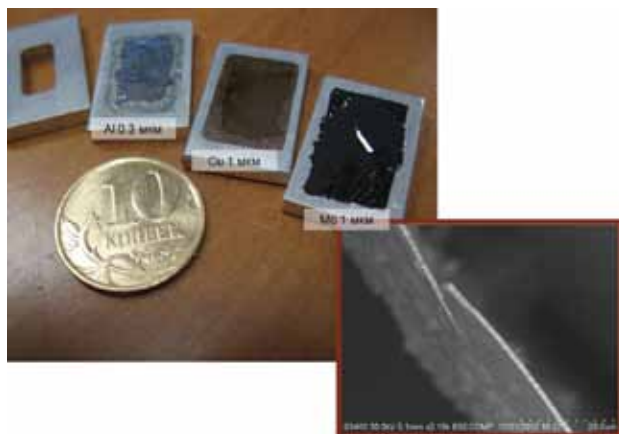


Рис.(6.3)3. Общий вид фильтров и микрофотография скола молибденовой пленки. Толщина - примерно 1 мкм. Ведутся работы по улучшению однородности и механической прочности молибденовых фильтров.

В настоящее время идет модернизация установки напыления, в результате которой появится возможность изготавливать многослойные свободновисящие пленки. Методика получения многослойных пленок позволит получать фильтры с более разнообразными спектральными свойствами и улучшенными механическими характеристиками. Как ожидается, повышение механической прочности сделает возможным изготовление фильтров толщиной до 0,2 мкм с апертурой до 30 мм.

## 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 2010 году Новосибирский ЛСЭ работал на пользователей около 750 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 120 – 240 мкм, относительная спектральная ширина составляет менее 1% (полная ширина на полувысоте), а длительность импульсов - около 100 пс (полная ширина на полувысоте).

В 2010 году в работах на ЛСЭ непосредственно участвовали сотрудники Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Института химической кинетики и горения СО РАН, Института цитологии и генетики СО РАН, Института неорганической химии СО РАН, Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Института теоретической и прикладной механики СО РАН, Конструкторско-технологического института научного приборостроения СО РАН, Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН (Москва), а также преподаватели, студенты и аспиранты Новосибирского государственного университета и Новосибирского государственного технического университета.

Одной из двух основных задач 2010 года была организация регулярных работ на шести рабочих станциях пользователей. Второй задачей был запуск второй очереди Новосибирского ЛСЭ.

## 6.4.2. Экспериментальные станции на пучках ТГц излучения

**6.4.2.1. Станция «Метрология»** предназначена для диагностики, контроля и оптимизации параметров излучения ЛСЭ и проведения физических экспериментов с этим излучением.

Участвующие организации:

- Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск;
- Институт физики полупроводников им. Ржанова СО РАН, Новосибирск;
- Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск.

В 2010 года работы проводились при финансовой поддержке РАН, СО РАН и РФФИ:

1. Программы Президиума РАН №27 проект №20 «Создание высокочувствительных фотоприемников на основе пленок PbSnTe:In для оптических методов и спектроскопии в терагерцовом диапазоне частот».

2. Программы Президиума РАН №27 проект №34 «Исследование спектра электронных состояний в наногетероструктурах Si/CaF<sub>2</sub>/BaF<sub>2</sub>/PbSnTe:In».

3. Грант РФФИ № 09-02-12303-офи\_м «Исследование взаимодействия терагерцового излучения с новыми функциональными резонансными метаматериалами для устройств управления поляризацией, фазой, интенсивностью и направлением распространения излучения».

4. Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 24 «Метаматериалы на основе прецизионных микро- и наноболочек для терагерцового и инфракрасного диапазонов».

5. Грант РФФИ №09-02-12121-офи\_м «Разработка методов измерения параметров мощного терагерцового излучения и методов управления этими параметрами».

6. Грант РФФИ №10-02-90005-Бел\_а «Исследование взаимодействия терагерцового электромагнитного излучения с материалами на основе углеродных нанотрубок».

### Работы 2010 года:

1) В длинноволновом диапазоне терагерцового ЛСЭ получена лазерная генерация на третьей гармонике. По качеству излучения этот режим был не хуже, чем излучение на основной частоте. Лазер излучал линейно поляризованный гауссов пучок с длиной волны в окрестности 70 мкм со средней мощностью около 30 Вт при частоте повторения электронных импульсов 5,6 МГц. Были возможны три режима работы, переключаемые определенными манипуляциями с оптическим резонатором: режим генерации только первой гармоники, режим генерации только третьей гармоники и режим генерации обеих гармоник одновременно. На Рис.(6.4)1 показаны спектры излучения ЛСЭ в этих трех режимах. Лазерная генерация на гармониках позволяет расширить частотный диапазон ЛСЭ.

2) Обнаружена и исследована тонкая структура в спектрах оптической активности решетки из микроспиралей на GaAs подложке. Как показали расчеты и контрольные эксперименты, эта структура хорошо объясняется интерференцией нулевого и первого порядков дифракции излучения на этой решетке. Наблюдаемая тонкая структура показана на Рис.(6.4)2.

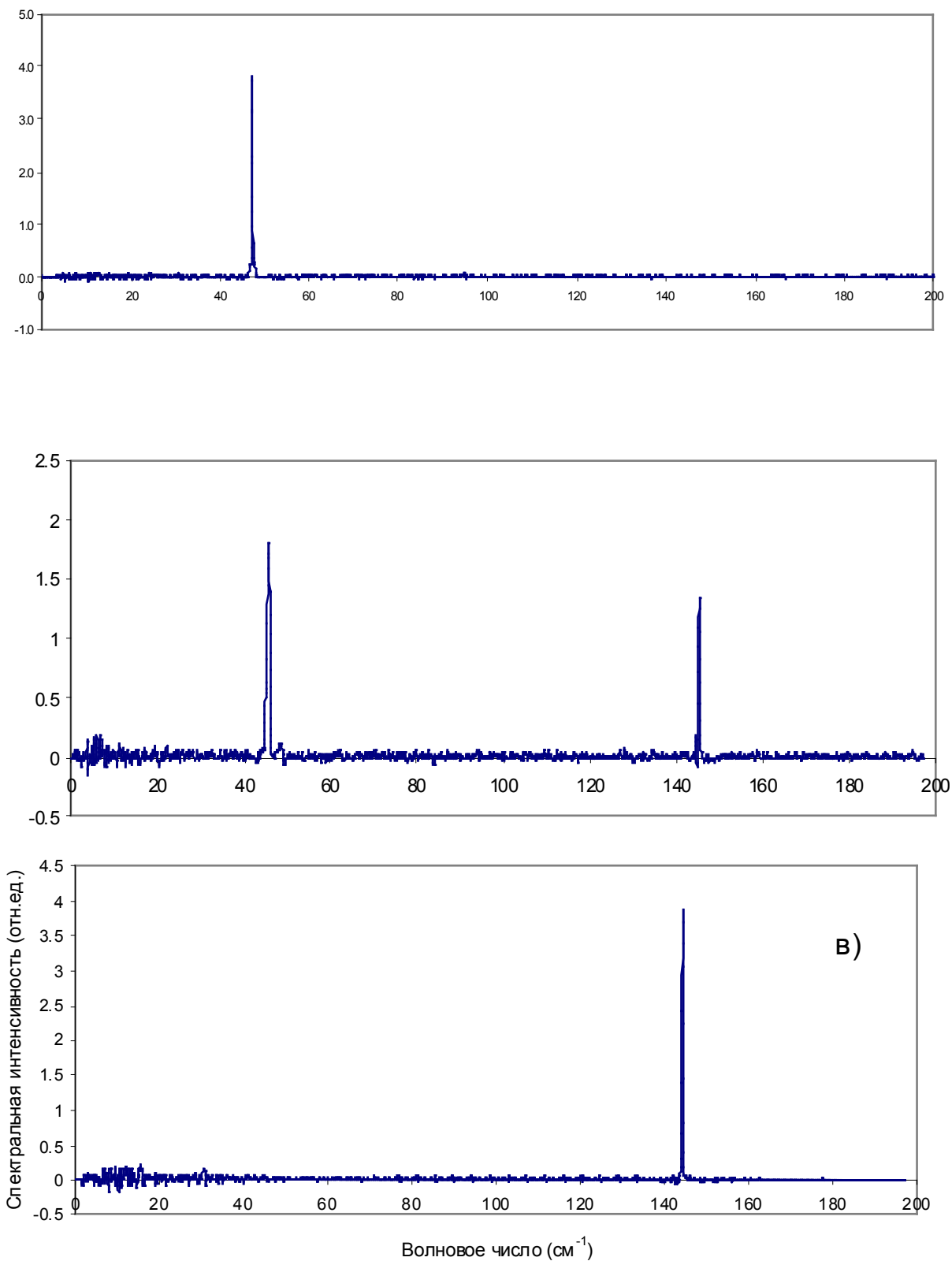


Рис.(6.4)1. Лазерная генерация терагерцового ЛСЭ на первой, первой и третьей, и третьей гармониках.



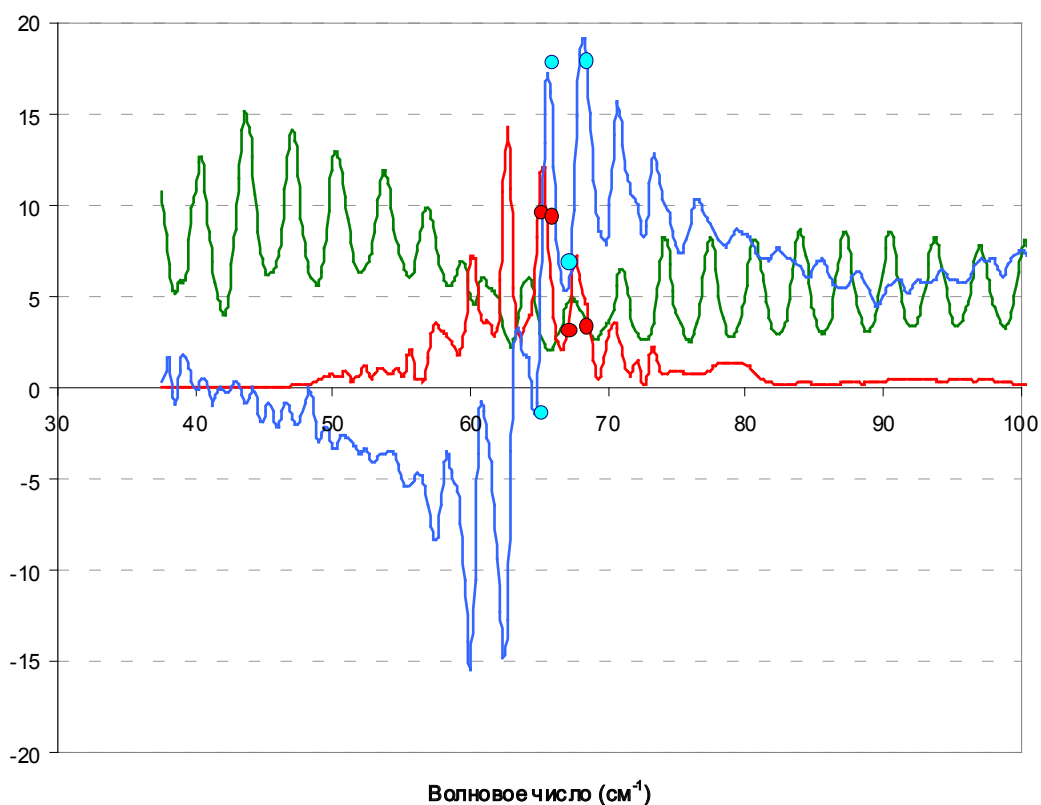


Рис.(6.4)2. Фурье-спектры углов вращения (град.), кругового дихроизма (дихроизм интенсивности  $\times 50$ ) и пропускания (пропускание  $\times 30$ ) и данные измерений на ЛСЭ (точки) для квадратной сетки микроспиралей на GaAs 400 мкм подложке. Ширина линии излучения ЛСЭ –  $0,2 \text{ см}^{-1}$ .

3) Обнаружен большой поляризационный эффект на образцах ориентированных нанотрубок в терагерцовом излучении. По-видимому, также обнаружен антенный эффект этих образцов, состоящий в значительном уменьшении поляризационного эффекта для длин волн больших, чем удвоенная длина исходных наиболее длинных нанотрубок. На Рис.(6.4)3 показаны спектры пропускания одного из образцов для двух линейных поляризаций, а на Рис.(6.4)4 - поляризационная угловая характеристика этого образца, снятая на ЛСЭ.

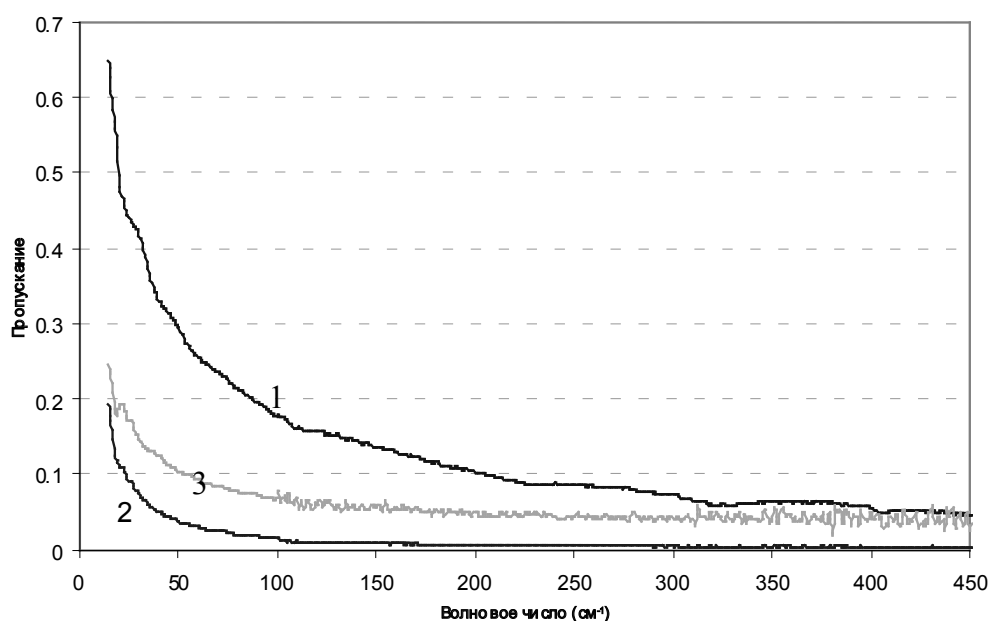


Рис.(6.4)3. Спектры пропускания образцов с нанотрубками для излучения, поляризованного поперек осей нанотрубок (1, верхняя кривая), вдоль осей нанотрубок (2, нижняя кривая) и их отношения (3) .

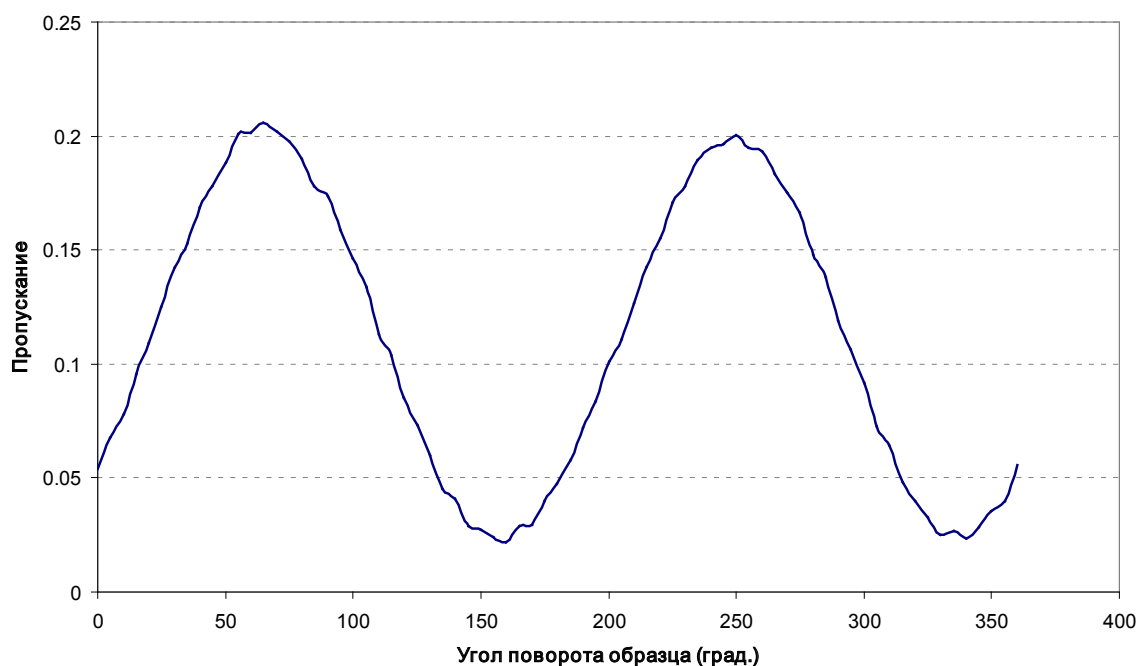


Рис.(6.4)4. Поляризационная угловая характеристика одного из образцов с ориентированными нанотрубками.

**6.4.2.2. Станция физико-химических и биологических исследований** предназначена для изучения воздействия излучения на микро и нанообъекты и исследования продуктов абляции нуклеиновых кислот, белков и ферментов, полимеров и минеральных кластеров.

В 2010 году работы с биологическими объектами проводились при финансовой поддержке Междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН №39 и №52.

Участвующие организации:

- Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск;
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск;
- Лимнологический институт СО РАН, Иркутск.

**Темы работ 2010 года:**

1. Получение углеродных наноструктур с помощью терагерцового излучения ЛСЭ (Институт катализа СО РАН).
2. Определение фракционного состава нанопродуктов механической активации двойных оксидов (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск).
3. Исследование композитных кремний-полимерных наноструктур (Лимнологический институт СО РАН, Иркутск).

Предварительные результаты работ 2010 года:

**1. Получение углеродных наноструктур с помощью терагерцового излучения ЛСЭ.**

Под воздействием мощного сфокусированного излучения ЛСЭ (длина волны 130 мкм) на образцы чистого графита в атмосфере сухого азота получены симметричные полиэдрические наноструктуры (Рис.(6.4)5) сформированные монослоями углерода (Рис.(6.4)6), а также углеродные нанотрубки диаметром 6 нм и длиной до 1,5 мкм (Рис.(6.4)7).

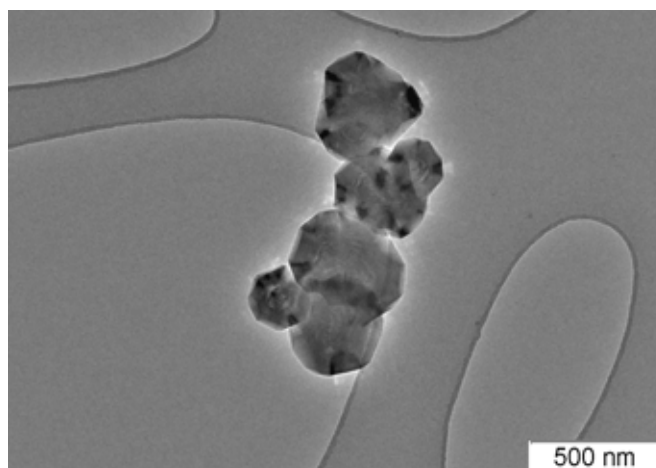


Рис.(6.4)5. Электронная микроскопия частиц, полученных при мощном воздействии излучения ЛСЭ на графит.

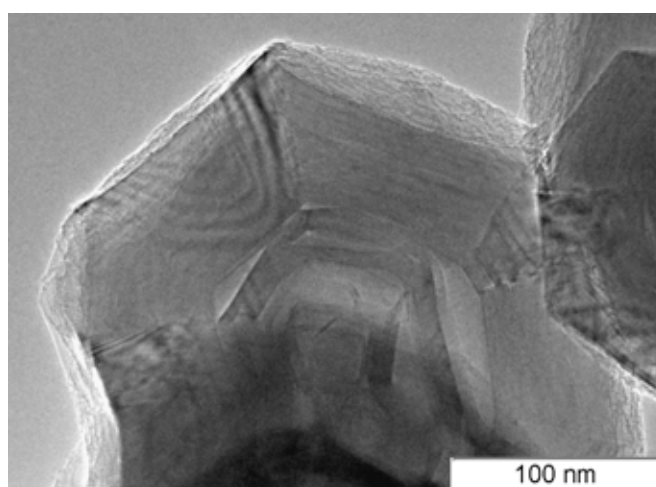


Рис.(6.4)6. Электронная микроскопия частиц, полученных при мощном воздействии излучения ЛСЭ на графит, при большем увеличении.

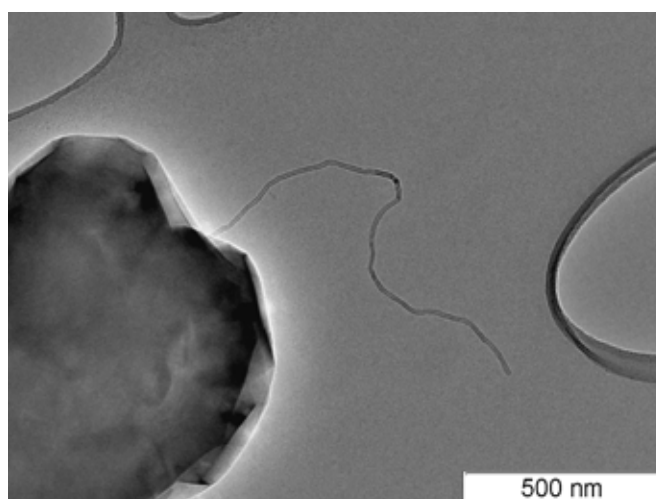


Рис.(6.4)7. Углеродная нанотрубка.

Образцы чистого графита предоставлены А.М. Володиным (ИК СО РАН), электронная микроскопия проведена там же В.В. Зайковским.

В настоящее время проводится подбор оптимальных параметров устойчивого получения подобных наноразмерных частиц и выяснения параметров кристаллической микроструктуры.

## 2. Определение фракционного состава нанопродуктов механической активации двойных оксидов

Методом мягкой терагерцовой абляции проведено определение фракционного состава образцов шпинели (Рис.(6.4)8), синтезированных в ИХТТМ СО РАН (Е.Г. Аввакумов). Полученные результаты соответствуют данным рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии.

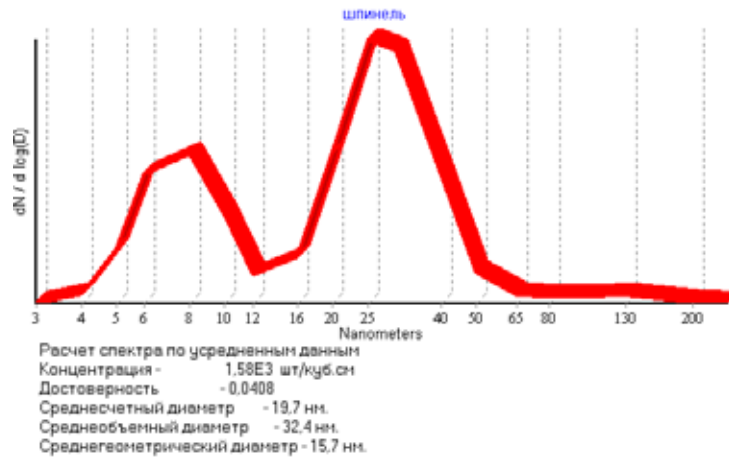


Рис.(6.4)8. Фракционный состав шпинели по данным неразрушающей абляции.

## 3. Исследование композитных кремний-полимерных наноструктур

Методом лазерной абляции в сочетании с аэрозольной спектрометрией установлена структура композитных наночастиц, моделирующих везикулы транспорта кремния в диатомовых водорослях. Показано, что стабильные в растворе частицы радиусом 20-100 нм, полученные при конденсации кремниевой кислоты в присутствии поливиниламина, содержат кремнеземные фрагменты радиусом 1-4 нм, стабилизированные цепями органического полимера. Полученные результаты свидетельствуют об уникальных возможностях лазерной абляции для исследования структуры композитных наночастиц.

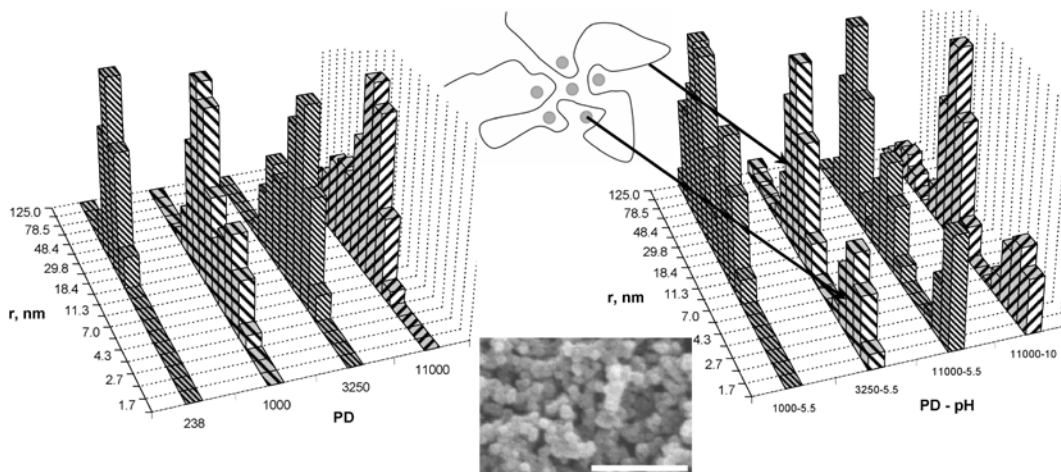


Рис.(6.4)9. Распределение по размерам частиц, полученных при абляции образцов ПВА различной степени полимеризации (PD) и композитных частиц, образовавшихся при эквимольном соотношении ПВА – кремниевая кислота и различных значениях pH. Микрофотография композитного осадка в системе ПВА – кремниевая кислота при эквимольном соотношении компонентов и pH = 10, масштаб 1 мкм и схема строения композитных наночастиц.

### 6.4.2.3. Станция «Спектроскопия и интроскопия (СпИн)»

Станция предназначена для исследования спектров поглощения веществ и субстанций, а также для многоцелевых квазиоптических экспериментов с визуализацией изображений.

Участвующие организации:

- Новосибирский государственный университет;
- Новосибирский государственный технический университет;
- Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск;
- Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск;
- Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН, Новосибирск;
- Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва;
- Университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва;
- Korean atomic energy research institute, Daejeon, Korea;
- Terawave, Inc., Daejeon, Korea;
- Viewworks Co. ltd, Gyeonggi-do, Korea.

В 2010 году на станции велись при поддержке грантов:

1. Грант РФФИ 09-02-12121-офи\_м «Разработка методов измерения параметров мощного терагерцового излучения и методов управления этими параметрами»;
2. Грант РФФИ\_09-02-12158-офи\_м «Разработка физических основ томографии, голографии и метрологии с использованием источника когерентного монохроматического терагерцового излучения»;
3. Интеграционный проект СО РАН № 89 «Разработка метода терагерцовой изображающей спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения с функцией ближнепольного микроскопа»;
4. Госконтракт № 02.740.11.0556 «Плазменная спектроскопия материалов, микро- и наночастиц и биологических объектов в терагерцовом диапазоне».

Были получены следующие основные результаты:

#### 1. Спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения

Продолжены работы по повышению качества изображения в НПВО-спектрометре. Создана и запущена система с записью изображения с помощью перемещающегося матричного микроболометрического приемника. Предложена схема голографической записи, позволяющая работать в режиме реального времени. Конструкторско-технологическим институтом научного приборостроения СО РАН разработан и апробирован на стенде конфокальный датчик поверхности с использованием дифракционного хроматического кодирования для целей терагерцовой спектроскопии. Основным элементом датчика является оригинальный гибридный рефракционно-дифракционный объектив. Показана возможность использования в качестве спектроанализатора цветной видеокамеры.

#### 2. Регистраторы изображения в терагерцовом диапазоне

Совместно с Институтом физики полупроводников продолжены исследования механизма чувствительности к терагерцовому излучению матричных микроболометрических приемников. Обнаружено, что элементы конструкции приемных ячеек не поглощают терагерцовое излучение непосредственно, а чувствительность матриц сильно зависит от поляризации электромагнитной волны. Сделано заключение, что регистрация волны происходит вследствие антенного эффекта на металлических ножках каждого микроболометра, что приводит к их омическому нагреву и передаче тепла к соответствующему элементу. Выяснение механизма работы существующих матриц в терагерцовом диапазоне позволяет по-новому подойти к разработке матричных приемников, предназначенных для регистрации изображений в терагерцовом диапазоне, и в перспективе повысить их чувствительность на 1 - 2 порядка.



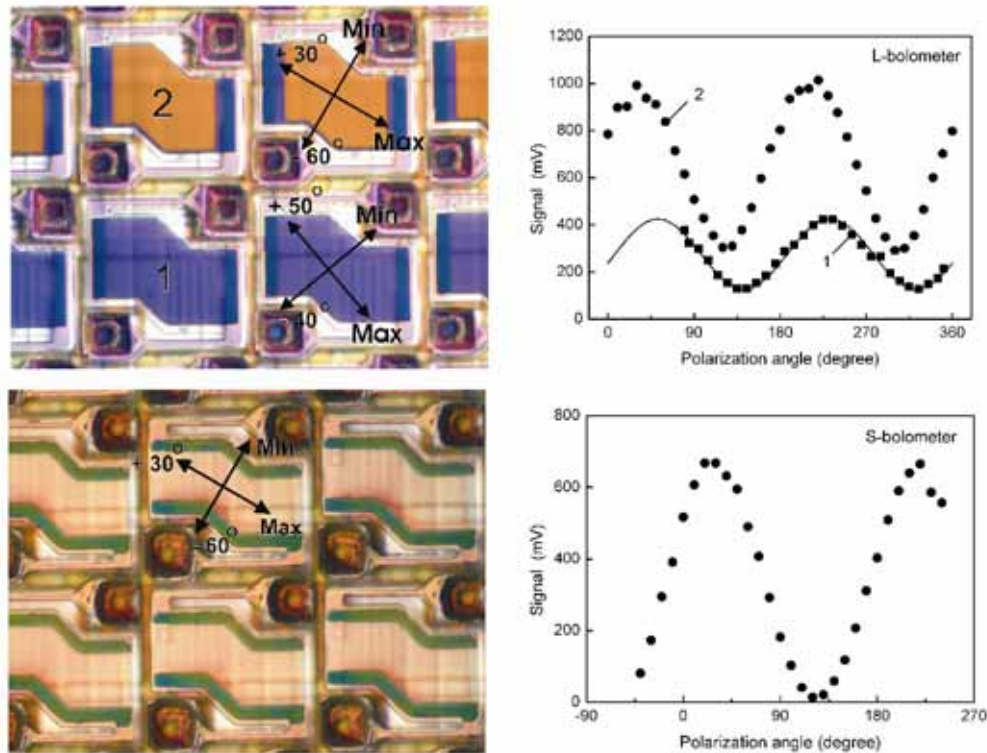


Рис.(6.4.)10. Зависимость чувствительности матричных микроболометрических приемников разных типов в зависимости от направления поляризации терагерцового излучения. При нанесении на поверхность чувствительного элемента L-боллометра тонкого металлического слоя (график сверху) чувствительность повышается.

### Плазмонная спектроскопия поверхностей и пленок.

Опробован новый метод захвата свободной электромагнитной волны в поверхностную моду в терагерцовом диапазоне, используя щелевой волноводный элемент вместо «ножа». Показано, что эффективность захвата увеличивается минимум на порядок. Впервые получены изображения распределения интенсивности поверхностной волны на торце образца в режиме реального времени с помощью матрицы микроболометров. Обнаружено, что распределение интенсивности отличается от распределения, предсказываемого теорией Друдэ. Исследованы зависимости длины пробега волны от состава поверхности.

### 3. Эффект Тальбота в терагерцовом диапазоне

Тальбот-эффект (правильнее было бы «Толбот», но мы следуем общепринятому историческому наименованию) в последние годы вызывает большой интерес в рентгеновских измерительных системах и при прохождении атомных пучков сквозь кристаллы. Наблюдается всплеск публикаций на эту тему и для видимого диапазона. Ни об одном эксперименте, проведенном в терагерцовом диапазоне, нам не известно. Этот эффект впервые зарегистрирован нами в терагерцовом диапазоне на длинах волн 126 и 54 мкм. Исследованы особенности проявления эффекта в условиях, когда характерный размер периодических структур составляет всего несколько длин волн (до трех  $\lambda$  на диаметре отверстия) электромагнитного излучения (рис.(6.4)11). Продемонстрировано практическое применение эффекта для измерения длины волны ЛСЭ, измерения расстояний и исследования динамики оптических неоднородностей конденсированных и газовых сред. Рассмотрено применение эффекта для решения проблемы неопределенности фазы в терагерцовой голографии.

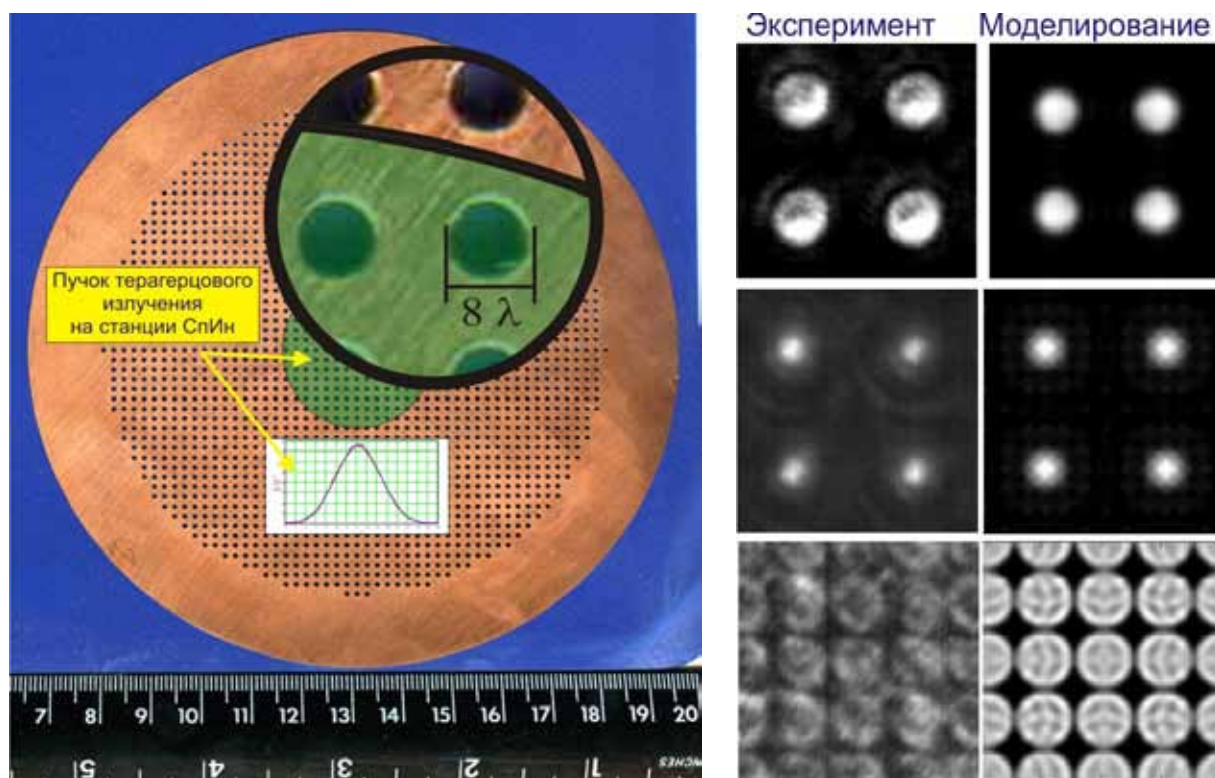


Рис. (6.4)11. Слева: одна из периодических структур, использованных для исследования эффекта Тальбота в терагерцовом диапазоне. Справа: сравнение численного моделирования и экспериментально зарегистрированных с помощью матричного микроболметрического приемника изображений с некоторых характерных плоскостях.

#### 4. Регистрация объектов, освещаемых терагерцовым излучением

Проведены модельные эксперименты по записи изображений гладких и шероховатых объектов, освещаемых излучением терагерцового ЛСЭ, с помощью матрицы микроболметров. Исследования проводились в режиме реального времени. Объекты могли быть скрыты экраном, не прозрачным для видимого и ближнего инфракрасного излучений. Показано, что шероховатые объекты хорошо регистрируются по их спекл-картине, причем при продуманной организации оптической системы можно идентифицировать их форму. Гладкие проводящие объекты видны только по их френелевским рефлексам, которые почти всегда наблюдаются на границах и могут быть искусственно скрыты при специально подобранной ориентации больших плоскостей (см. рис.(6.4.)12). Диэлектрические объекты заметить труднее всего, хотя динамические изменения в поле зрения все-таки наблюдаются. Все объекты, однако, могут быть надежно обнаружены, если на заднем плане имеется шероховатая, отражающая терагерцовое излучение поверхность. В этом случае визуализирующая камера четко регистрирует тени объектов на фоне спекл-картины. Результаты представляют интерес для систем промышленного контроля и систем безопасности.

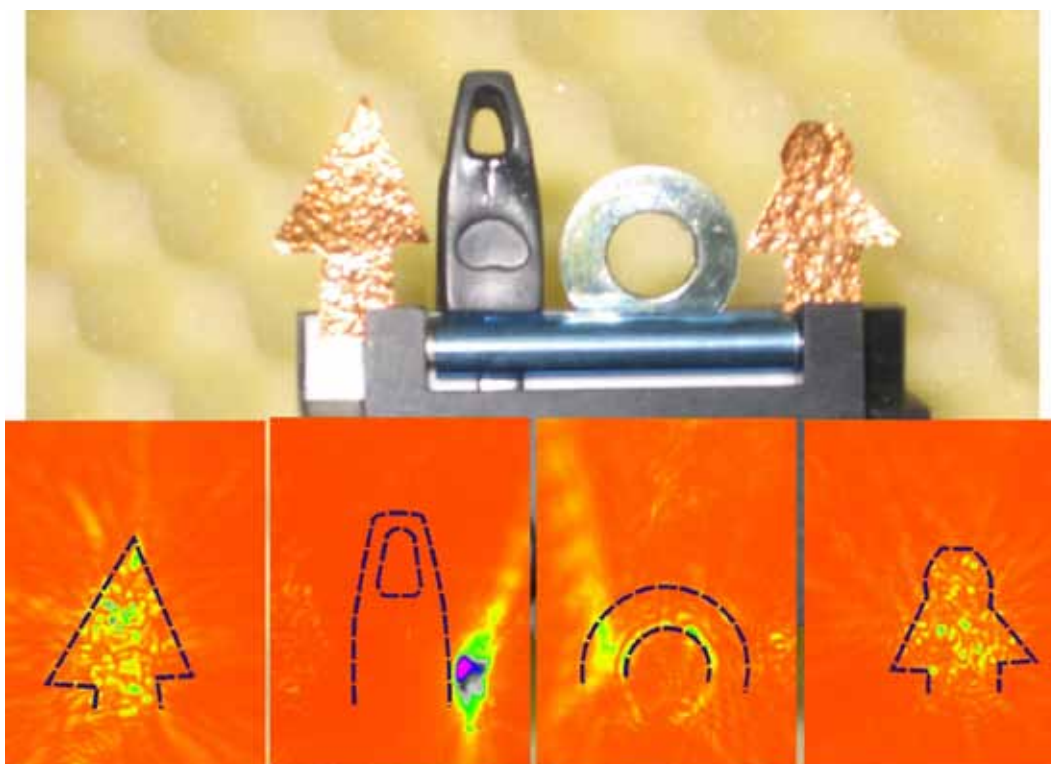


Рис.(6.4.)12. Изображения объектов в терагерцовом диапазоне, снятые с помощью линзы Френеля и матрицы микроболометров.

#### 6.4.2.4. Станция молекулярной спектроскопии.

Станция предназначена для исследования с помощью излучения ЛСЭ молекулярных спектров химических соединений важных для процессов горения.

Участвующие организации:

- Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск;
- Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск;
- Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск.

В 2010 году работы проводились при финансовой поддержке следующих грантов:

1. Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН №102 «Разработка фарадеевского ЛМР спектрометра терагерцового диапазона с использованием лазера на свободных электронах».
2. Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН №52 «Запуск ЛСЭ второй очереди, разработка и изготовление элементов ЛСЭ третьей очереди».

#### Темы работ 2010 года:

1. Работа по повышению чувствительности метода регистрации парамагнитных молекул.
2. Развитие методов диагностики пламени с помощью терагерцового ЛСЭ.

Примеры работ 2010 года:

**С целью проверки возможности использования излучения ЛСЭ для измерения концентрации водяного пара в пламени, было проведено исследование поглощения на линии  $H_2O$  при высокой температуре.**

Водяные пары являются основным поглощающим компонентом терагерцового излучения в пламени. Однако прямое использование излучения ЛСЭ для определения концентрации водяного пара сильно осложняется поглощением в подводящих оптических путях, содержащих водяные пары при комнатной температуре. Длина подводящего оптического пути обычно значительно больше, чем длина пути в пламени, коэффициент поглощения, как правило, уменьшается при повышении температуры. Эти причины приводят к практически полной невозможности использования сильных линий водяного пара для диагностики пламени. Решением проблемы может быть специальный выбор линии поглощения, для которой коэффициент поглощения при комнатной

температуре мал, а при повышении температуры возрастает.

Для экспериментов была выбрана линия поглощения  $H_2O$  на  $77,3 \text{ см}^{-1}$ , для которой энергия нижнего состояния сравнительно велика  $E_1 = 1282,9 \text{ см}^{-1}$ , что составляет около  $6 \text{ кТ}$  при комнатной температуре. По этой причине при комнатной температуре коэффициент поглощения на этой линии невелик (рис.(6.4).13). При увеличении температуры населенность нижнего состояния растет, что приводит к увеличению коэффициента поглощения. На рис. (6.4).14 показано, как вследствие перераспределения населенностей вращательных уровней при нагревании меняется относительная интенсивность четырех линий поглощения водяного пара в интервале  $77 - 80 \text{ см}^{-1}$ .

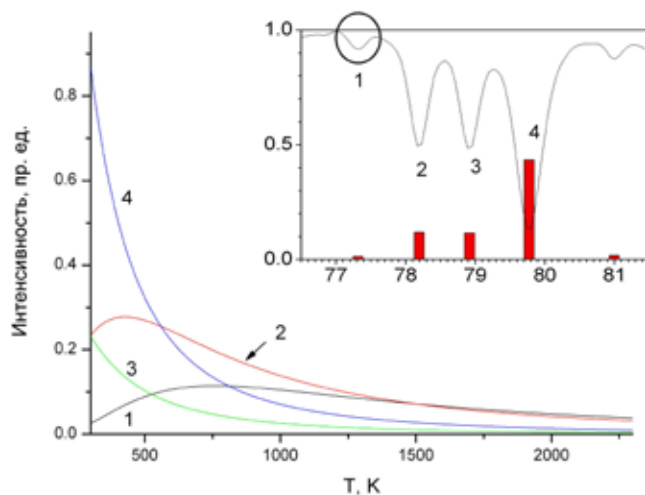


Рис.(6.4)13. Изменение относительной интенсивности четырех линий поглощения водяного пара, лежащих в интервале  $77 - 80 \text{ см}^{-1}$ . На вставке показан соответствующий участок спектра водяного пара при комнатной температуре. Кругочком обведена выбранная для измерений линия.

Были проделаны калибровочные измерения коэффициента поглощения излучения ЛСЭ на линии поглощения  $77,3 \text{ см}^{-1}$ . Измерения проводились в открытой трубчатой печи длиной  $50 \text{ см}$ , которая наполнялась водяными парами.

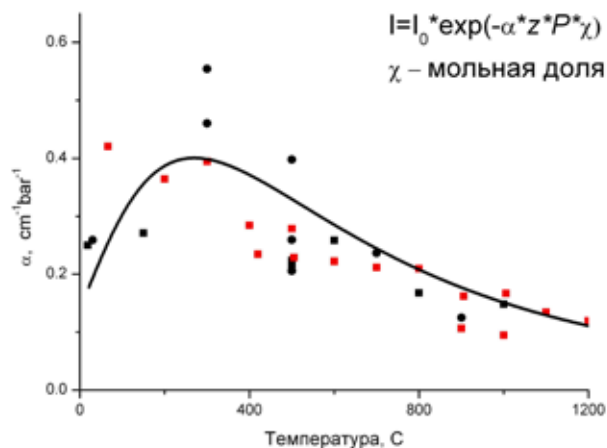


Рис.(6.4)14. Результаты измерения коэффициента поглощения излучения ЛСЭ водяным паром при различных температурах. ЛСЭ настраивался на линию поглощения  $77,3 \text{ см}^{-1}$ . Сплошная линия – расчет с учетом реального спектра ЛСЭ и интегральной интенсивности линии, взятой из базы NASA.

С использованием полученных калибровочных данных были проделаны измерения концентрации водяного пара в богатом сажином  $C_2H_4/O_2/Ar$  пламени как функция расстояния от поверхности горелки. Сопоставление результатов эксперимента и расчета показали, что полученные экспериментальные данные по концентрации паров  $H_2O$ , измеренных на расстоянии  $20-25 \text{ мм}$  от поверхности горелки ( $CH_2O$ , эксп. =  $0,088 \pm 0,010$ ) удовлетворительно согласуются с результатами расчетов ( $CH_2O$ , расч. =  $0,095$ ). Таким образом, с помощью метода вращательной терагерцовой спектроскопии с удовлетворительной точностью можно проводить измерения концентрации во-



данных паров в сажистых пламенах и в пламенах двухфазных потоков, в которых традиционными оптическими методами проводить такие измерения трудно.

Для уменьшения спектральной ширины излучения ЛСЭ изготовлен монохроматор суб-миллиметрового диапазона.

Спектральное разрешение монохроматора около  $0,1 \text{ см}^{-1}$ . Эта величина примерно равна ширине линий поглощения во вращательном спектре в пламени при атмосферном давлении. На рис.(6.4)15. приведен пример спектра ЛСЭ, записанного с помощью монохроматора, а также линии поглощения паров  $D_2O$  внутри спектрального контура ЛСЭ.

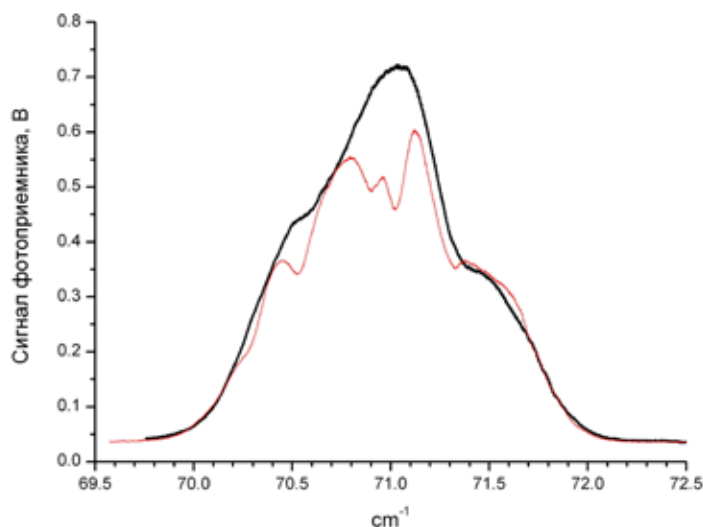


Рис.(6.4)15. Полученный с помощью монохроматора спектр излучения ЛСЭ (черная линия). Спектр записан после прохождения излучения через откачанную кювету. Красная линия показывает изменение спектра при заполнении кюветы парами  $D_2O$  при давлении 3 Торр.

#### 6.4.2.5. Станция «Газо-гетерогенное осаждение тонких слоев»

Станция отлажена и запущена в работу в 2010 году и предназначена для исследования физико-химических процессов индуцированного осаждения тонких слоев на поверхности твердых тел.

Работа проводится в рамках научной программы ИНХ СО РАН V.36.5. «Развитие химии комплексных, кластерных и супрамолекулярных структур и синтез новых веществ на их основе».

Научный проект: Химия летучих комплексов металлов с органическими лигандами и процессы их термических и фотостимулированных превращений на различных типах поверхности как основа формирования наноструктурных материалов методом MO CVD.

Научный руководитель проекта: д.х.н., профессор И.К.Игуменов

Участвующие организации:

- Институт неорганической химии им. А.В.Николаева СО РАН, Новосибирск;
- Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск;
- Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск.

#### Тема работы 2010 года:

Исследование процесса индуцированного осаждения тонких слоев меди с использованием совмещенного синтеза-переноса малоразмерных летучих металлокомплексов.

#### Краткое описание темы:

Новые физико-химические процессы осаждения металлических наноразмерных структур на поверхности твердых тел представляют собой основу для развития целого ряда современных технологий микроэлектроники, гетерогенного катализа, синтеза новых оптоэлектронных материалов и т.п. Одним из перспективных методов конформной металлизации поверхностей со сложными рабочими рельефами является разработанный нами метод совмещенного синтеза-переноса (ССП) как развитие традиционной технологии MO CVD. Сущность предложенного подхода состоит в объединении в одном объеме реактора двух процессов: **синтеза** летучего металлокомплекса и его **переноса** на подложку с последующим образованием слоя на ее поверхности. Метод СПП пока-



зал свою эффективность при формировании металлических слоев из различных малоразмерных комплексов меди, образующихся при пропускании летучих реагентов-предшественников (летучих прекурсоров) через мелкодисперсную насыпку из медьсодержащих твердых компонентов (нелетучих прекурсоров).

Выбор прекурсоров, методов их активации и условий осаждения слоя в ССП-процессе определяет характеристики целевого материала. Значительным преимуществом здесь является возможность применения неравновесных процессов активации прекурсоров и зоны синтеза слоя, а также возможность генерации и использования для синтеза материала слоя метастабильных летучих металлокомплексов, получение и выделение которых в чистом виде затруднительно. Более того, принцип ССП конструктивно позволяет разместить в едином реакционном объеме и попеременно подключать несколько комбинаций реагентов-предшественников, формируя, таким образом, структуры слоев различного назначения за одну технологическую операцию.

Наилучшие по качеству тонкие слои меди на кварцевых и кремниевых подложках получены при генерации формиатных комплексов с применением паров муравьиной кислоты и насыпки мелкодисперсной смеси металлической меди и оксида меди в соотношении 1:1. Вместе с термической активацией подложки применена плазменная активация зоны синтеза слоя с использованием СВЧ-разряда. Характерные образцы синтезированных слоев меди были детально проанализированы с применением методов оптической спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и дифракции синхротронного излучения (ДСИ). Выявлено, что осажденный слой имеет характерную плотно упакованную зернистую структуру с преимущественным содержанием меди в металлическом состоянии  $\text{Cu}^0$  наноразмерных зерен.

Следует отметить, что аналогичные ССП-процессы с осаждением тонких слоев различного функционального назначения могут быть организованы для целого ряда тугоплавких, монетных и благородных металлов, в частности W, Ti, Ta, Ru и др.

На станции «Газо-гетерогенное осаждение тонких слоев» также в рамках гранта РФФИ № 09-02-12100 –офи\_м «Изучение фундаментальных основ селективного воздействия терагерцового излучения на пространственную организацию биологических объектов» изучалось нетермическое воздействие электромагнитного излучения на различные уровни организации живых систем. Терагерцовая область электромагнитного спектра была выбрана для проведения этих исследований. В качестве объектов воздействия были выбраны следующие биологические системы: ДНК плазмиды pUC18, искусственные геносенсорные конструкции на основе стресс-чувствительных промоторов и протеом клеток *E.coli* штамма M13. Была осуществлена модернизация рабочей станции, разработана модельная система для изучения прямого воздействия терагерцового излучения на ДНК. Исследовано воздействие терагерцового излучения на стрессочувствительные системы клетки, реагирующие на окислительный стресс. В рамках исследования интегрального протеомного ответа клетки *E.coli* на воздействие терагерцовым излучением построены двумерные карты протеомов *E.coli* и проведена идентификация отдельных белков, изменяющих экспрессию под воздействием терагерцового излучения.

С целью регулирования и контроля точной дозы облучения биологических объектов была проведена модернизация станции. Терагерцовое излучение доставляется на рабочую станцию через стандартный модуль распределения излучения на рабочие станции. Общий вид станции после модернизации представлен на рис.(6.4)16.

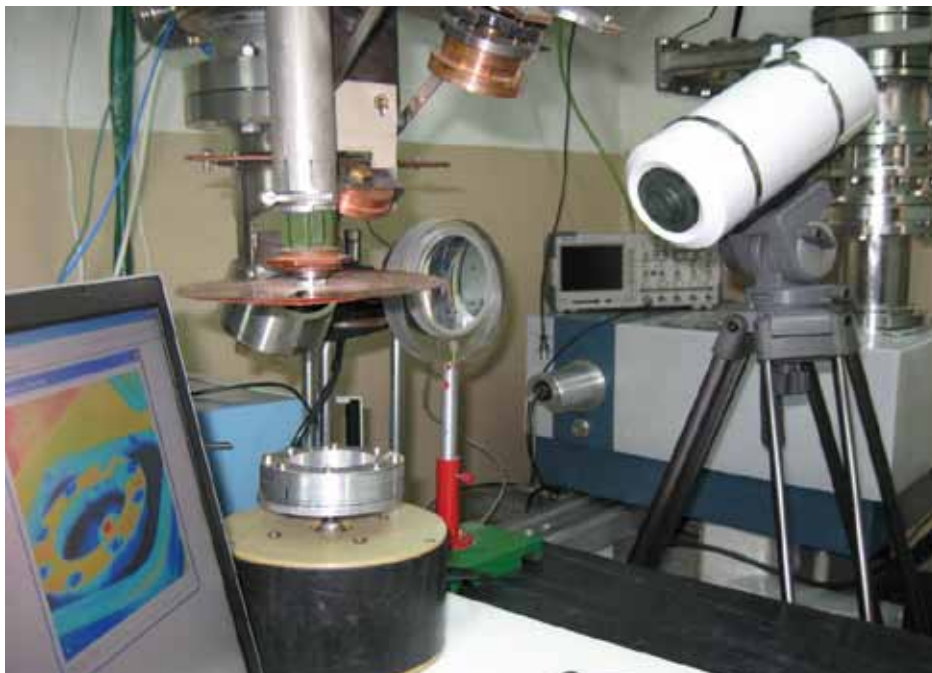


Рис.(6.4)16. Станция после модернизации.

Модернизация включала следующие работы:

1) Установка и юстировка плоского поворотного и фокусирующего зеркал. Плоское зеркало предназначено для изменения направления параллельного излучения. Угол падения излучения на фокусирующее зеркало составлял  $40^\circ$ , его фокус составил 12 см. Соответственно, фокусное расстояние для одной координаты - 9,2 см а для второй - 15,6 см;

2) Для регулировки средней мощности излучения при условии неизменности пиковой мощности был изготовлен обтюратор, состоящий из двух медных кругов диаметром 20 см, имеющих общую ось вращения и вращающихся при помощи электромотора. В каждом круге сделано по одному секторному отверстию, имеющему 1:30 площади круга. Поворотом кругов друг относительно друга можно регулировать площадь открытого отверстия, меняя при этом среднюю мощность излучения и оставляя неизменной пиковую. Для изменения плотностей средней и пиковой мощностей образец позиционировался в разных точках фокусировки излучения после обтюратора;

3) Была изготовлена специальная кювета для экспонирования биологических образцов. Образец помещается между двумя натянутыми полипропиленовыми пленками кюветы толщиной 40 мкм. Объем кюветы составляет 50 мкл при расстоянии между пленками в 25 мкм и диаметром кюветы 50 мм;

4) Сечение пучка излучения в плоскости кюветы представляет собой вытянутый эллипс. Для обеспечения равномерного экспонирования образца по всему объему кювету вращали с помощью специального механизма. Ось вращения проходила через край эллипса.

Для контроля температуры жидких образцов при поглощении терагерцового излучения использовали высокочувствительный тепловизор ТКВр-СВИТ101 производства Института физики полупроводников СО РАН с чувствительностью не хуже  $0,027^\circ\text{C}$  и с возможностью динамической регистрации изменения температурных полей.

### **Исследование воздействия терагерцового излучения на генетический материал**

В качестве модельного объекта для исследования воздействия терагерцового излучения на генетический материал была использована ДНК плазмиды pUC18. Облучение плазмиды терагерцовым излучением может приводить к денатурации молекулы в результате разрушения водородных связей в определенных сайтах в двухцепочечной структуре ДНК под воздействием излучения. В присутствии молярного избытка комплиментарных олигонуклеотидов будет происходить гибридизация с образованием соответствующей триплексной структуры. Использование меченных флуорохромом олигонуклеотидов позволит визуализировать триплексную структуру при электрофоретическом анализе. Гибридизация меченных олигонуклеотидов с ДНК плазмиды pUC18 свидетельствует о разрушении водородных связей в ДНК при воздействии терагерцовым излучением.

Был осуществлен подбор сайтов в составе плазмиды pUC18, разработана и апробирована методика электрофоретического анализа продуктов гибридизации денатурированных сайтов.

Для изучения воздействия терагерцового излучения на вторичную структуру ДНК реакционную смесь помещали в специально сконструированную кювету. Реакционная смесь содержала 500 нг/мкл ДНК плазмиды pUC18 и 5 нг/мкл меченого флуорохромом олигонуклеотида. Температуру среды в кювете контролировали при помощи тепловизора «ТКВр-СВИТ 101» и поддерживали в пределах от 12 до 14 °С. Реакционную смесь в объеме 50 мкл помещали в экспериментальную кювету и облучали терагерцовым излучением с плотностью мощности 1,4 Вт/см<sup>2</sup> при разных длинах волн в течение 5 - 20 мин. После этого реакционную смесь собирали и наносили на гель для проведения электрофореза при включенном напряжении при температуре геля ~ 37 – 40 °С.

Согласно этой схеме была проведена серия экспериментов при различных длинах волн и временах экспозиции. Длины волны и время облучения приведены в таблице (6.4)1.

Таблица (6.4)1. Условия эксперимента по изучению воздействия терагерцового излучения на вторичную структуру ДНК.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
Длина волны, мкм	125,1	128,7	138,5	141,4	130	130	130	140
Время, минуты	10	10	5	5	5	10	20	10

Во всех проведенных экспериментах при облучении терагерцовым излучением не наблюдалось образования триплексов соответствующего олигонуклеотида и ДНК плазмиды pUC18. Результаты можно объяснить тремя причинами:

Терагерцовое излучение не обеспечивает денатурацию вторичной структуры ДНК.

Водородные связи вторичной структуры имеют узкую резонансную полосу поглощения, и она не найдена в экспериментах, проведенных к данному времени.

Малое время релаксации денатурированной ДНК по сравнению с подвижностью олигонуклеотида в реакционной смеси.

### **Исследование воздействия терагерцового излучения на стрессочувствительные системы клетки**

Исследование воздействия терагерцового излучения на живые объекты представляет интерес в связи с планированием использования этого диапазона длин волн для разработки систем безопасности. Появление мощных источников терагерцового излучения также ставит задачу изучения ответа живых организмов на излучение терагерцового диапазона. В рамках настоящего проекта была поставлена задача изучения влияния этого излучения на отдельные звенья клеточного метаболизма. В качестве модельных объектов использована серия стрессочувствительных геносенсоров, созданных в ИЦиГ СО РАН.

На рис.(6.4)17 приведена общая схема работы геносенсорных конструкций на основе клеток *E.coli*. Стрессочувствительный промотор присоединён к гену-репортеру. В качестве гена-репортера используется ген *gfp*, кодирующий белок GFP (Green Fluorescent Protein) - флуоресцентный белок.

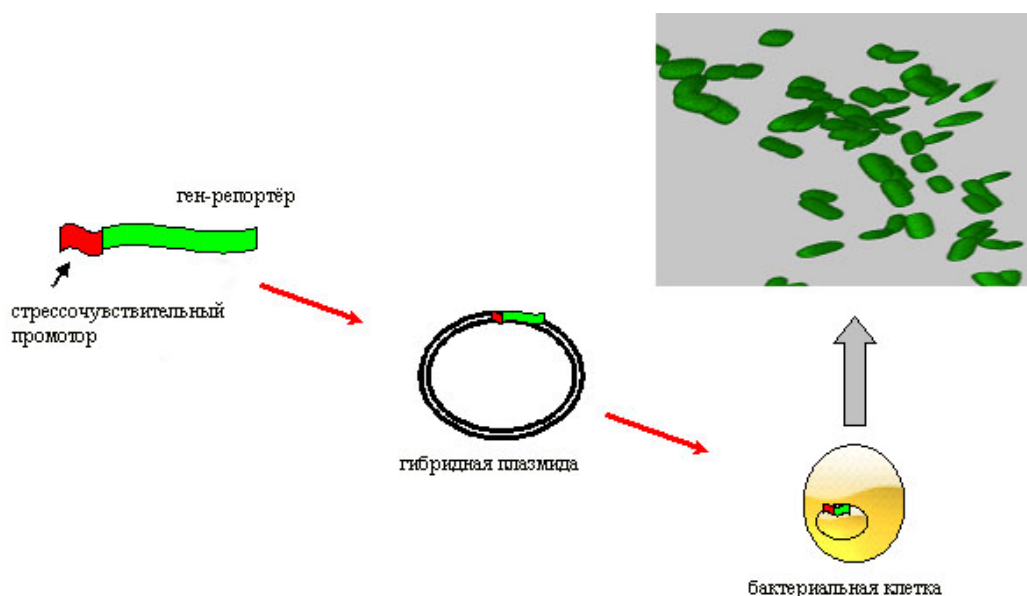


Рис.(6.4)17. Принципиальная схема устройства геносенсора.

Полученная рекомбинантная плазмида вводится в бактериальную клетку. При попадании клетки в неблагоприятные условия срабатывает стрессочувствительный промотор, присоединенный к регуляторному элементу. Ген-репортёр позволяет визуализировать работу промотора – клетка продуцирует флуоресцирующий белок и окрашивается в зеленый цвет, что легко увидеть с помощью обычного флуоресцентного микроскопа или зарегистрировать с помощью спектрофотометра.

Было разработано несколько геносенсорных конструкций с разными стрессочувствительными промоторами: *katG*, *yfiA*, и *dps*.

### Влияние терагерцового излучения на экспрессию генов *katG* и *dps* *E. coli*

Поскольку среда LB, в которой препаративно нарабатываются клетки геносенсора, имеет собственную флуоресценцию в диапазоне флуоресценции Gfp-белка, клетки геносенсора *E.coli/pKat-gfp* переносили в минимальную среду M9 следующего состава: 0,4% глюкозы, 0,2% казаминовых кислот, 48 mM  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , 22 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 18,7 mM  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 8,5 mM NaCl, 1 mM  $\text{MgSO}_4$ , 0,1 mM  $\text{CaCl}_2$ , после чего клетки переносили в специально сконструированную кювету. Температуру среды в кювете контролировали при помощи тепловизора «ТКВр-СВИТ 101» и поддерживали на уровне  $35 \pm 2$  °С. Клетки облучали 10 мин. В качестве контроля работоспособности геносенсоров использовали индукцию синтеза Gfp-белка 8 mM перекисью водорода. Реакцию клеток *E.coli/pKat-gfp*, *E.coli/pDps-gfp* и *E.coli/pYfi-gfp* оценивали по уровню флуоресценции (облучение – 485 нм, 0,1с; эмиссия – 535 нм) при температуре культивирования 37 °С. Флуоресценцию измеряли с помощью флуориметра Perkin Elmer VICTOR3 в относительных единицах.

Для регистрации сигнала отдельных клеток *E.coli/pKat-gfp* в ответ на терагерцовое излучение был использован лазерный сканирующий микроскоп LSM500META производства фирмы ZEISS. Для возбуждения молекул GFP<sub>va</sub> использовалась лазерная линия 488 нм аргонового лазера. Лазерная сканирующая микроскопия позволяет выделять сигнал из узкого оптического слоя (около 0,7 мкм), в котором находятся биологические объекты. Фоновые сигналы выше и ниже данной плоскости исключались из регистрации. Регистрацию сигнала проводили в диапазоне от 505 нм до 525 нм с использованием 63-кратного объектива. Полученные данные обрабатывались программным обеспечением фирмы ZEISS «LSM Image Examiner». Для регистрации положения клеток геносенсора *E.coli/pKat-gfp* параллельно проводилась микроскопия препаратов методом, дающим изображение, аналогичное дифференциальному контрасту. Использованное программное обеспечение позволяет совмещать изображение, полученное при анализе оптических срезов и световой микроскопии. Использованный метод позволил зарегистрировать отдельные клетки, продуцирующие GFP<sub>va</sub>.

На рис.(6.4)18 представлены результаты микроскопии клеток геносенсора *E.coli/pKat-gfp* после 10 мин облучения терагерцовым излучением с плотностью мощности 1,4 Вт/см<sup>2</sup> и длиной волны 130 мкм.



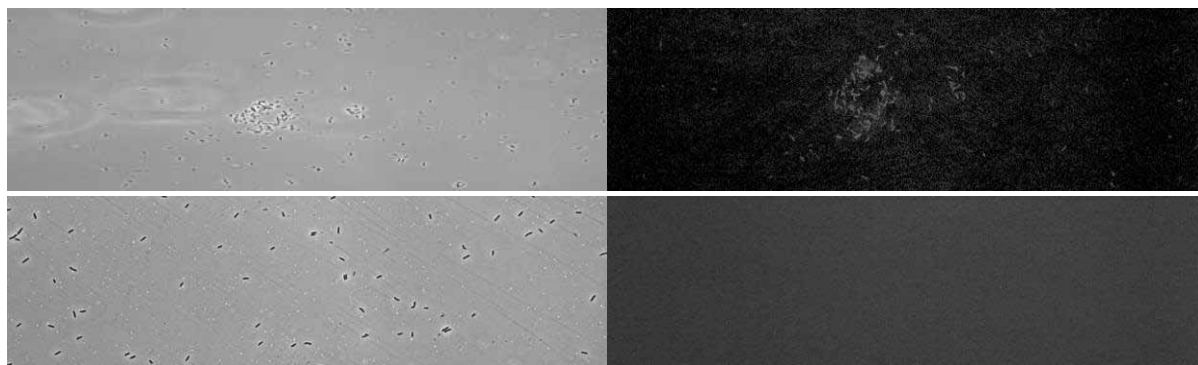


Рис.(6.4.)18. Сверху: клетки *E.coli/pKat-gfp* после облучения излучением ЛСЭ 130 мкм. Сверху слева – изображение в фазовом контрасте, сверху справа – флуоресцентная микроскопия. Снизу: контроль (без облучения). Снизу слева – изображение в фазовом контрасте, снизу справа – флуоресцентная микроскопия.

Совместный анализ изображений клеток, полученных в дифференциальном контрасте и при возбуждении флуоресцентного сигнала, показал, что приблизительно 80% клеток *E.coli/pKat-gfp* реагируют синтезом GFP<sub>va</sub> белка в течение 40 мин на облучение. Отрицательным контролем в данной серии экспериментов служили клетки этого же геносенсора без облучения терагерцовым излучением. Как видно из рисунка (6.4.)18, снизу лишь единичные клетки геносенсора *E.coli/pKat-gfp* по случайным причинам проявляли способность к синтезу GFP<sub>va</sub> белка. Таким образом, можно сделать заключение, что терагерцовое излучение с длиной волны 130 мкм индуцирует синтез GFP белка в клетках геносенсора *E.coli/pKat-gfp*.

В дальнейшем индукцию синтеза GFP белка в клетках геносенсоров регистрировали при помощи флуориметра Perkin Elmer VICTOR3. На рис.(6.4.)19 приведены значения уровня экспрессии GFP белка при индукции клеток геносенсора *E.coli/pDps-gfp* терагерцовым излучением с плотностью мощности 1,4 Вт/см<sup>2</sup> и длиной волны 130 мкм.

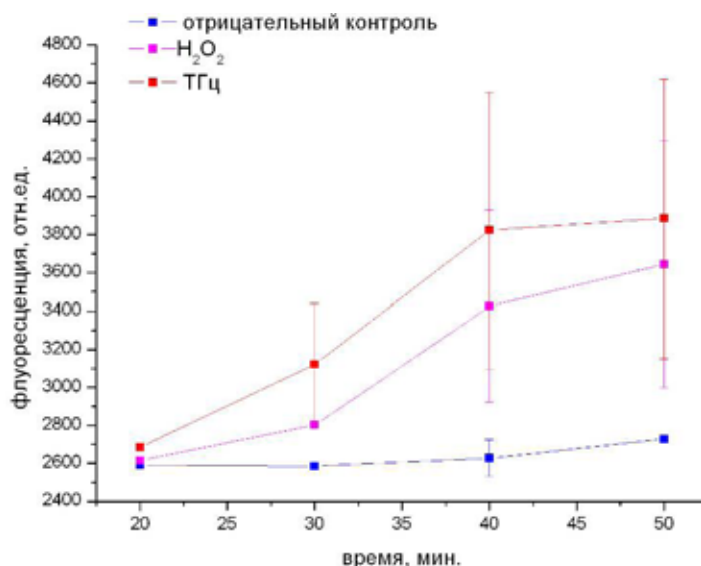


Рис.(6.4.)19. Уровень экспрессии Gfp-белка в клетках геносенсора *E.coli/pDps-gfp* при индукции терагерцовым излучением (ТГц), перекисью водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) и без индукции.

Из рис.(6.4.)19 видно, что уровень экспрессии GFP белка в клетках геносенсора *E.coli/pDps-gfp* при индукции терагерцовым излучением и перекисью водорода достоверно отличается от уровня экспрессии этого белка в неиндуцированных клетках.



## Исследование интегрального протеомного ответа клеток *E.coli* на воздействие терагерцовым излучением

Для проведения исследований был выделен клон *E.coli* штамма M13. Для проведения эксперимента 50 мкл клеток переносили в специально сконструированную кювету. Клетки облучали терагерцовым излучением с плотностью мощности  $1,4 \text{ Вт/см}^2$  и длиной волны 130 мкм, при этом температуру в камере поддерживали на уровне  $35 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  путем регулирования потока излучения обтюратором как описано выше. Температуру среды в кювете контролировали при помощи тепловизора «ТКВр-СВИТ 101». Длительность облучения составляла 10 минут. Затем культуру собирали из камеры, переносили в термостат на  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  и инкубировали в течение 5 минут для развития ответа, после чего клетки фиксировали 50 % этанолом. Процедуру повторяли с несколькими порциями культуры для получения конечного объема облученной культуры около 300 мкл. В качестве контроля использовали культуру клеток *E.coli* штамма M13, которые фиксировали порциями, соответствующими по времени культивирования порциям культуры, собранным в эксперименте, до получения конечного объема 300 мкл.

Анализ протеома *E.coli* проводился современными методами протеомного анализа, включающими двумерный электрофорез с последующей идентификацией белков методом MALDI-TOF масс-спектрометрии (UltraFlex III, Bruker). Для стандартизации эксперимента использована современная система, развитая фирмой BioRad, позволяющая существенно повысить воспроизводимость двумерных протеомных карт. Высокая разрешающая способность примененных способов и методов исследований протеома позволила впервые идентифицировать воздействие терагерцового излучения на клетки *E.coli* животных.

На рис.(6.4)20. представлена электрофореграмма суммарного белка *E. Coli* после воздействия терагерцовым излучением. Стрелками обозначены электрофоретические белковые фракции с достоверными различиями (критерий Стьюдента, 95 %) в уровнях экспрессии в два раза. Обнаружено 18 фракций белка протеома *E.coli*, изменяющих экспрессию под действием терагерцового излучения.

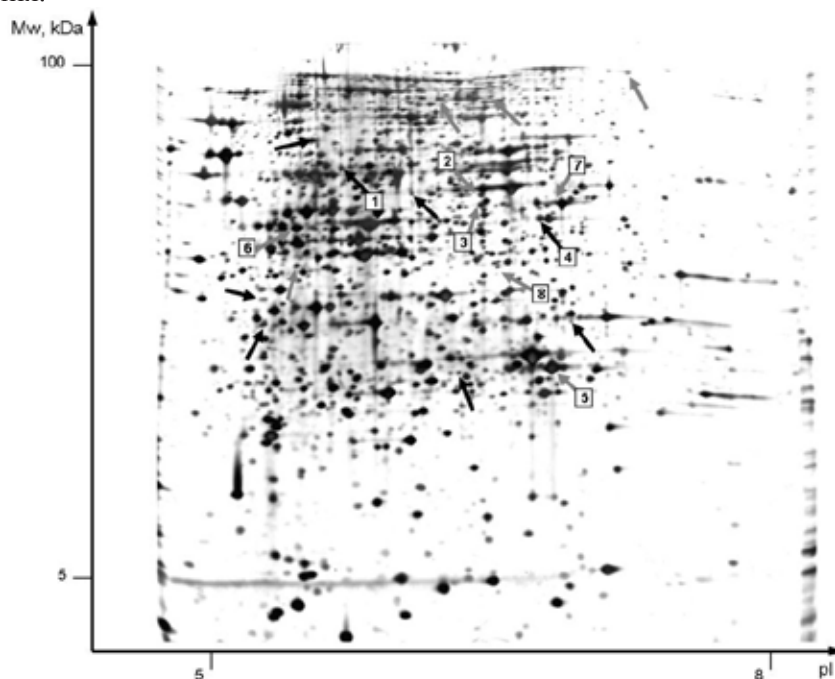


Рис.(6.4)20. Электрофореграмма суммарного белка *E. Coli* после воздействия терагерцовым излучением. Черными стрелками показаны фракции с повышенной экспрессией в опыте по сравнению с контролем, серыми стрелками - с пониженной. Номерами 1-8 обозначены идентифицированные фракции, экспрессия которых различалась более чем в два раза по сравнению с фракциями контрольного образца.

### Масс-спектрометрическое определение

Масс-спектрометрическое определение полученных пептидов каждой фракции осуществляли на приборе Ultraflex Tof Tof (Bruker Daltonics) методом MALDI с использованием в качестве матрицы  $\alpha$ -Cyano-4-hydroxycinnamic acid (CHCA). Идентификацию состава триптических гидролизатов

проводили при помощи программы MASCOT и базы данных NCBI. Идентифицированные белки приведены в таблице (6.4)2.

Таблица (6.4)2. Идентифицированные белковые фракции культуры *E. Coli*, экспрессия которых изменялась более чем в два раза (повышалась либо снижалась) при воздействии на бактерий ТГц излучения.

№ фракции	Идентифицированный белок	Изменение экспрессии	Mw, Da	pI	Sequence Coverage	Score
1	Glutamine synthetase	повышение	51871	5,26	47 %	77
2	Phosphoglucosamine mutase	снижение	47487	5,71	35 %	70
3	Glucarate dehydratase	снижение	49110	5,69	30 %	63
4	Cysteine desulfurase	повышение	45061	5,94	48 %	95
5	Uridine phosphorylase	снижение	27142	5,81	76 %	142
6	Phosphopentomutase	снижение	44342	5,11	38 %	96
7	Serine hydroxymethyltransferase	снижение	45316	6,03	52 %	111
8	Threonine dehydratase catabolic	снижение	35210	5,75	69 %	116

У *E.coli* имеется несколько систем, обеспечивающих реакцию клетки на изменения условий окружающей среды. Поступающие извне сигналы активируют соответствующую генную сеть, в результате чего происходит перепрограммирование транскрипции и развивается адаптивный ответ, в результате происходит коррекция метаболизма, в некоторых случаях активируются системы стресс-ответа. Для *E.coli* описаны, по крайней мере, пять путей ответа на внешние сигналы: *Bae*, *Spx*, *Psp*, *Rcs*, и *sE*, обеспечивающие реакцию на физические, химические или биологические (вирусная инфекция) воздействия и отдельные генные сети стрессовых ответов: на тепловой шок, окислительный стресс и другие. Идентифицированные изменения в протеоме *E.coli* свидетельствуют как об активации, так и о репрессии отдельных метаболических путей при воздействии терагерцовым излучением на живую систему. Биоинформатический анализ изменений, происходящих в протеоме *E.coli* под воздействием терагерцового излучения, позволит определить, какие генные сети активируются, и установить, таким образом, мишени, на которые воздействует терагерцовое излучение.

### 6.4.3. Вторая очередь Новосибирского ЛСЭ

Работа по созданию и запуску второй очереди Новосибирского ЛСЭ проводилась при финансовой поддержке в рамках Интеграционного проекта СО РАН № 6/2006 «Разработка и изготовление ЛСЭ второй очереди», «Базового» проекта фундаментальных исследований РАН № 2.6.6.4 «Создание ЛСЭ терагерцового и инфракрасного диапазонов со средней мощностью до 50 кВт», Интеграционного проекта СО РАН № 52 «Запуск ЛСЭ второй очереди, разработка и изготовление элементов ЛСЭ третьей очереди» Госконтракта № 02.740.11.0430 на выполнение НИР по теме «Запуск второй очереди мощного лазера на свободных электронах и разработка элементов третьей очереди» и инициативного проекта РФФИ № 09-02-12121-офи\_м «Разработка методов измерения параметров мощного терагерцового излучения и методов управления этими параметрами».

Для продвижения в более высокочастотную часть терагерцового диапазона создается вторая очередь лазера на свободных электронах (ЛСЭ). Для создания ЛСЭ, работающего в диапазоне частот 3 – 10 ТГц, был построен и запущен первый в мире ускоритель-рекуператор (УР) с двумя дорожками (то есть, с четырехкратным прохождением электронного пучка через высокочастотные резонаторы).

Полномасштабный УР использует ту же ускоряющую ВЧ-структуру, что и УР первой очереди, но расположен, в отличие от последнего, в горизонтальной плоскости (рис.(6.4)21). Таким образом, не требуется демонтаж одного для постройки другого. Выбор режима работы осуществляется простым переключением поворотных магнитов.

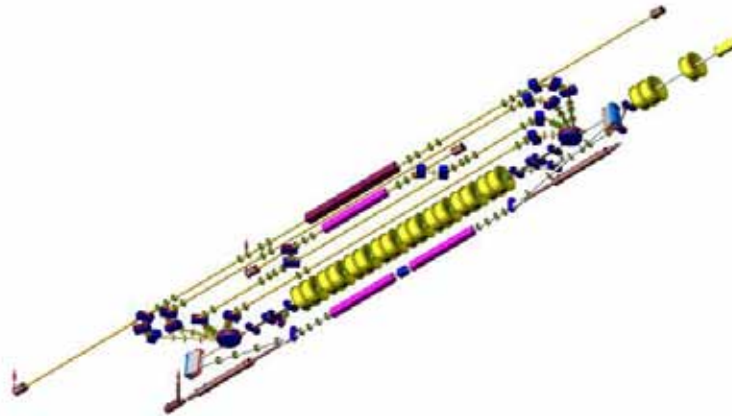


Рис.(6.4)21. Схема полномасштабного 4-оборотного ускорителя-рекуператора (плюс одна дорожка в вертикальной плоскости с ЛСЭ ТГц диапазона 110-240 мкм.).

ЛСЭ второй очереди размещен на второй дорожке УР. В дальнейшем планируется установить на последнюю (40 МэВ) дорожку УР мощный ЛСЭ ближнего ИК диапазона в области длин волн 5 – 12 мкм.

В 2009 году был создан лазер на свободных электронах, работающий в диапазоне длин волн 40 – 80 микрон. Максимальная средняя мощность излучения составляет около 500 Вт, что является мировым рекордом в этом диапазоне. В 2010 году излучение нового лазера на свободных электронах выведено на пользовательские станции и начаты эксперименты с его использованием.

Из-за сильного поглощения излучения в воздухе необходимо передавать излучение по трубам, заполненным сухим азотом, или откачанным до низкого давления. Первый вариант предпочтительнее вследствие простоты вывода широких пучков излучения на пользовательские станции через тонкие полипропиленовые окна. Канал вывода излучения ЛСЭ второй очереди (средняя часть) показан на рисунке (6.4)22. Излучение, приходящее снизу, отразившись от двух зеркал, попадает в «старую» часть канала (вдали) через узел подвижного зеркала. По старой части канала излучение подается на пользовательские станции. Были проведены измерения спектров излучения и длительности импульсов и средней мощности излучения. Излучение ЛСЭ второй очереди будет использовано в исследованиях по физике, химии и биологии. Кроме того, в канал, распределяющий излучение по станциям, добавлен выводной узел для установки еще одной станции.



Рис.(6.4)22. – Канал вывода излучения ЛСЭ второй очереди (средняя часть). Излучение, приходящее снизу, отразившись от двух зеркал, попадает в «старую» часть канала (вдали) через узел подвижного зеркала.

В 2010 году спроектирован оптический резонатор для третьей очереди ЛСЭ и закончено изготовление элементов третьей очереди ЛСЭ.

#### 6.4.4. Результаты 2010 года и планы на 2011 г.

Основные результаты работ в 2010 году:

1. Обеспечена регулярная работа пользователей на терагерцовом излучении ЛСЭ первой очереди.
2. Проведена модернизация канала вывода излучения и существующих экспериментальных станций, и продолжена работа над созданием новых станций.
3. Запущен канал вывода излучения ЛСЭ второй очереди.
4. Закончен монтаж вакуумной камеры третьей и четвертой дорожек ускорителя-рекуператора.
5. Спроектирован оптический резонатор для ЛСЭ на четвертой дорожке.
6. Подготовлено помещение для испытательного стенда ВЧ инжектора.
7. Проведена модернизация одного высокочастотного генератора УР.

Планы на 2011 год:

1. Запустить УР с четырьмя дорожками.
2. Спроектировать канал вывода излучения из ЛСЭ на четвертой дорожке.
3. Продолжить работу над созданием новых станций.
4. Продолжить проектирование и изготовление узлов испытательного стенда ВЧ инжектора.
5. Продолжить работу на пользователей.

## 6.5. Разработка и создание специализированных генераторов СИ

### 6.5.1. Сверхпроводящие вигглеры

В июне 2010 года по контракту был доставлен и собран на территории строящегося накопителя ALBA-CELLS (Испания) 119-полюсный вигглер с периодом 31 мм, магнитным полем 2,2 Т и межполюсным зазором 12,6 мм. Были проведены заключительные испытания криогенной системы, системы управления, а также цикл магнитных измерений вигглера. Спектральные свойства излучения данного вигглера при энергиях до 10 кэВ имеют структуру ондуляторного излучения благодаря малому значению параметра ондуляторности, который равен 6. При увеличении энергии фотонов спектр переходит в спектр синхротронного излучения.

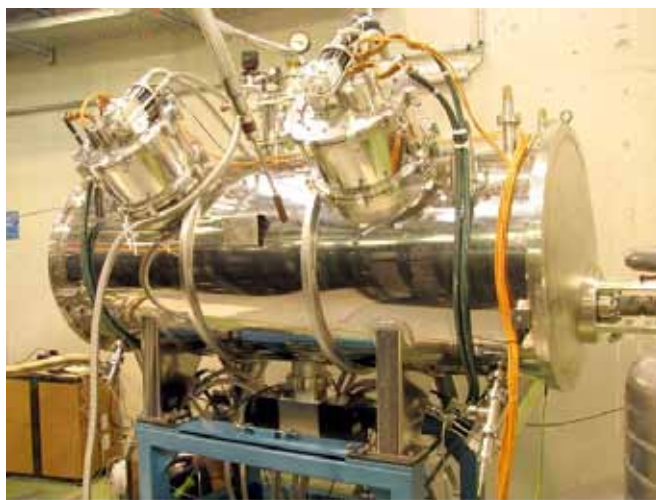


Рис.(6.5)1. Испытание 119-полюсного вигглера с полем 2,2 Тл и периодом 31 мм на накопителе ALBA-CELLS (Испания).



Отличительной особенностью вигглера является также использование тонкого сверхпроводящего провода диаметром всего 0,55 мм с рекордными для такого сечения токовыми характеристиками (240 А в поле 7 Тл). При использовании такого тонкого провода особое внимание было уделено защите сверхпроводника от сгорания и выводу энергии при срыве сверхпроводимости. Дело в том, что предельные токовые параметры этого провода достигаются за счет уменьшения сечения меди, необходимой для стабилизации сверхпроводника. Большое количество сверхпроводящих катушек, соединяемых последовательно, накладывало жесткие дополнительные требования на качество изготовления и методику проверки каждой сверхпроводящей катушки, а также на качество электрических контактов между ними. Все 238 обмоток вигглера соединены последовательно таким образом, что общее выделение тепла в местах спаев не превышает 50 мВт при токе 450 А.

Свои особенности имеет и криогенная система вигглера. Использование позолоченных медных теплообменников увеличило реконденсацию газообразного гелия и способствовало переохлаждению жидкого гелия и магнита до  $\sim 3,5$  К. Ожидается, что это обеспечит до двух лет надежной работы вигглера без обслуживания и с нулевым расходом гелия. К тому же пониженное до  $\sim 0,5$  бар давление в сосуде с жидким гелием позволяет производить до трех срывов сверхпроводимости без потерь гелия атмосферу.

В июне 2011 года предполагается установка и запуск вигглера непосредственно на накопительном кольце ALBA-CELLS. Излучение из вигглера будет использоваться на экспериментальной станции MSPD (Materials Science and Powder Diffraction), работающей с излучением в интервале энергии 10-50 кэВ. Этот диапазон энергий покрывает большинство экспериментов порошковой дифрактометрии, эксперименты по рассеянию и дифракции при высоких давлениях.

### 6.5.2. Радиационно-стойкий дипольный магнит для строящегося в GSI (Германия) ионного ускорителя.

В Германии строится международный научно-исследовательский ускорительный центр GSI, активное участие в котором принимает Россия. В ИЯФ СО РАН разрабатывался и строится дипольный магнит для Super-FRS, который предназначен для вывода пучков вторичных ионов (вторичные ионы получают бомбардировкой мишени ускоренными ионами или протонами) в исследовательские станции. В связи с тем, что дипольный магнит расположен после мишени, вторичные ионы имеют большой разброс по углам и координатам.

Дипольный магнит имеет зазор между полюсами 0,18 м, эффективную магнитную длину 2,4 м, радиус изгиба 12,5 м. Вес магнита около 100 тонн. Дипольный магнит будет расположен в зоне сильной наведенной радиации и важной особенностью магнита является полное отсутствие каких-либо конструктивных элементов, содержащих органические соединения.

Контрактная работа по разработке и изготовлению первого (из трех) радиационно-стойкого дипольного магнита для ускорительного центра GSI (Германия) была начата в 2007 году и закончена в 2010 году.

К началу 2010 года был собран магнит в целом. В 2010 году проведены магнитные измерения, по результатам которых были доработаны полюса магнита. В результате были получены проектные параметры поля. Дипольный магнит перестраивает магнитное поле от 0,15 Тл до 1,6 Тл за 120 секунд. Во всем этом диапазоне в горизонтальной апертуре  $\pm 20$  см неоднородность магнитного поля не превышает  $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ .



Рис.(6.5)2. Радиационно-стойкий дипольный магнит на стенде магнитных измерений.



### 6.5.3. Технологический накопительный комплекс (ТНК “Зеленоград”)

К началу 2009 года была закончена длительная тренировка линейного ускорителя, которая позволила повысить энергию электронов на выходе линейного ускорителя (ЛУ) до 65 МэВ, увеличить разовый захват электронов в малый накопитель (МН). После оптимизации параметров систем питания и управления, отладки программного обеспечения был получен режим работы, позволяющий накопить в МН до 70 мА электронов. Дальнейшее увеличение накопленного тока связано с длительным обезгаживанием стенок вакуумной камеры пучком синхротронного излучения. Были отработаны режимы поднятия энергии накопленных в МН электронов до энергии 450 МэВ и режимы перепуска электронов из МН в канал ЭОК-2 к главному кольцу. Инжекционный комплекс готов к началу работ на большой накопитель.

Одновременно с работами на инжекционном комплексе были завершены работы по монтажу магнитных элементов на большом накопителе (БН) и модернизации сильноточных источников питания.

В течение 2010 года была полностью изготовлена, смонтирована и поставлена под откачку вакуумная система большого накопителя. Кроме того, в ИЯФ были изготовлены ВЧ генератор на новых генераторных лампах и биметаллические резонаторы 180 МГц. Запуск всего комплекса планируется на конец 2011 года.



Рис.(6.5)3. Рабочий момент монтажа вакуумной системы большого кольца источника СИ “Зеленоград”.

### 6.5.4. Разработка нового источника синхротронного излучения для Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения

В 2010 году продолжались работы по концептуальной разработке специализированного источника СИ. Основное внимание уделялось следующим вопросам:

- общая компоновка комплекса, инженерная и пользовательская инфраструктуры;
- оптимизация магнитной структуры основного кольца;
- выработка научной программы и направлений исследований на данном источнике.

В 2009 году были проведены работы по предварительному проектированию комплекса зданий, инженерной и пользовательской инфраструктуры. В рамках данной работы были определены основные спецификации и планировки зданий комплекса, необходимые объёмы потребляемых ресурсов и оценки стоимости строительства.

В 2010 году продолжалась работа по проектированию комплекса зданий в рамках единой кон-

цепции развития института. Разработанные ранее эскизы были немного изменены, что позволило при сохранении общей функциональности эффективно вписать комплекс в разрабатываемую концепцию развития ИЯФ и избежать противоречий с планами строительства других комплексов. Общий вид комплекса зданий для нового источника СИ представлен на Рис.(6.5)4.



Рис.(6.5)4. Общий вид комплекса зданий нового центра синхротронного излучения в рамках единой концепции развития ИЯФ.

Также в 2010 году велись работы по дальнейшей оптимизации магнитной структуры основного кольца разрабатываемого источника СИ. На уровне линейных элементов магнитная структура была определена ранее. Основные параметры кольца представлены в Таблице (6.5)1, а оптические функции суперпериода - на Рис.(6.5)5.

Суперпериод состоит из трех ТВА-ячеек, центральным магнитом в центральной ячейке является сверхпроводящий диполь с полем 8,5 Тл. Все остальные магниты – обычные с полем 1,6 Тл. Всего в кольце 4 суперпериода. Данный подход позволяет реализовать использование магнитов разного типа в основной структуре и обеспечивает достаточное количество прямолинейных промежутков с малой дисперсионной функцией для размещения многополюсных устройств для генерации излучения (вигглеров или ондуляторов).

Таблица (6.5)1. Основные параметры накопителя – источника СИ.

Параметр	Величина
Энергия электронов	2,2 ГэВ
Поле в поворотных магнитах	8,5 Тл в сверхпроводящих магнитах 1,6 Тл в обычных магнитах
Критическая энергия квантов СИ	30 кэВ для СИ из сверхпроводящих магнитов 6 кэВ для пучков из обычных магнитов
Количество поворотных магнитов	4 сверхпроводящих 32 обычных
Угол поворота в магнитах	15° в сверхпроводящих и центральных нормально-проводящих магнитах 7,5° в нормально-проводящих боковых магнитах
Фазовый объем пучка (горизонтальный равновесный эмиттанс)	~ 5 нм · рад
Ток пучка	500 – 1000 мА
Время жизни пучка	8 – 10 часов
Периметр орбиты	214 м
Тип инъекции	на полной энергии с возможностью поддержания рабочего тока пучка

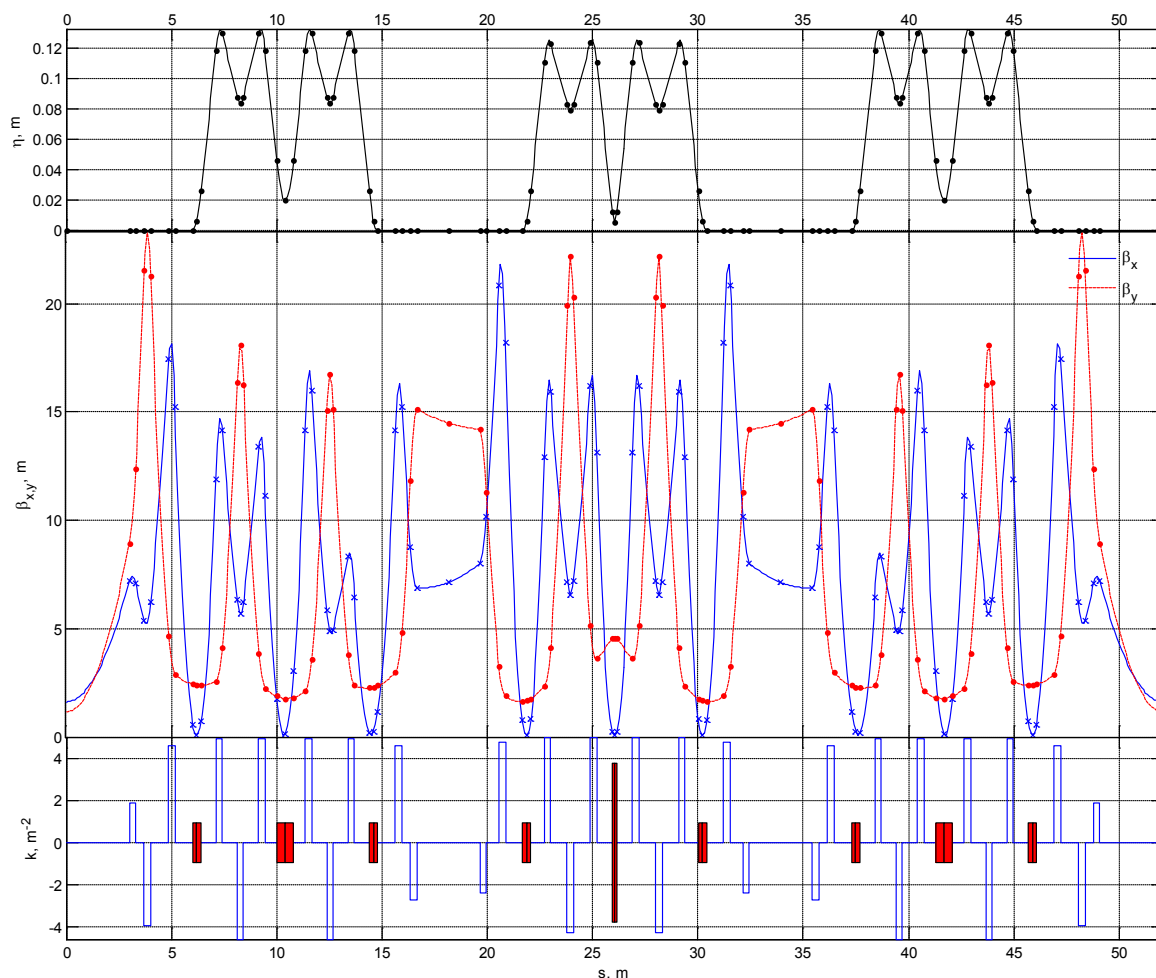


Рис.(6.5)5. Оптические функции суперпериода источника СИ.

В 2010 году главной целью оптимизации были нелинейные элементы магнитной структуры, позволяющие уменьшить натуральный хроматизм низкоэмиттансной структуры при сохранении достаточной динамической апертуры.

Стандартные подходы подавления хроматизма с использованием секступольных линз в данном случае не позволяют получить эффективное подавление для технологически достижимых значений секступольных градиентов. Это обуславливается высокой жесткостью системы квадрупольной фокусировки и общей компактностью структуры, т.е. отсутствием места для размещения достаточного количества секступолей.

В процессе оптимизации было предложено использовать комбинированные квадрупольно-секступольные линзы. В этом случае эффективность подавления существенно возрастает, так как секступольные градиенты находятся в местах максимумов бета-функций. Таким образом, значения секступольного градиента могут быть меньше, чем в случае изолированных секступолей при той же степени подавления. Это, в свою очередь, позволяет сохранить достаточную динамическую апертуру.

Результаты моделирования данного подхода позволяют надеяться на получение необходимых секступольных гармоник с помощью небольших безжелезных обмоток в квадруполях. Также предполагается использовать небольшое количество изолированных секступолей для общей коррекции. Оптимизация данной схемы продолжается в настоящее время.

Для подготовки концептуального проекта источника и для формирования научных направлений исследований на новом источнике во время конференции СИ-2010 был проведен цикл обзорных лекций по использованию СИ в различных исследовательских областях. На основе данных лекций сформированы обзорные доклады, которые будут включены в научную часть концептуального проекта источника.

### **6.5.5. MARS в РНЦ «Курчатовский институт»**

В 2010 году было принято решение о реализации проекта «MARS» на территории РНЦ «Курчатовский институт», проект подробно обсуждался в рамках Российско-германского рабочего совещания «Kurchatov Centre of Synchrotron Radiation and Nanotechnology» (18-19 февраля 2008 года, РНЦ КИ, Москва) и на конференции РСНЭ (2009 года).

В 2011 году планируется разработать концептуальный проект создания для РНЦ «Курчатовский институт» источника синхротронного излучения четвертого поколения «MARS» (по договору с РНЦ «Курчатовский институт»).

## **6.6. Конференции, совещания, семинары**

### **6.6.1. XVIII Международная конференция по использованию синхротронного излучения «СИ-2010»**

С 19 по 22 июля 2010 года в ИЯФ СО РАН прошла XVIII Международная конференция по использованию синхротронного излучения “СИ-2010” (такие конференции проводятся с 1975 года с периодичностью один раз в 2 года). Конференция состоялась при финансовой поддержке РФФИ. В конференции приняли участие около 150 человек, из них сорок пять человек иногородних из разных городов России (Зеленоград, Иркутск, Красноярск, Москва, Пущино, Ростов-на-Дону, Снежинск, Томск, Черноголовка). Тридцать пять участников конференции представляли институты Новосибирска и новосибирского Академгородка (без учета ИЯФ). В конференции также участвовали 35 сотрудников ИЯФ. Девять участников представляли организации из Германии (Institute for Synchrotron Radiation, Institute for Microstructure Technology, DESY) и Франции (ESRF). На конференции было представлено 62 устных доклада общей продолжительностью около 25 часов, а также 71 постерная презентация.

Традиционно тематика конференции покрывала все вопросы, связанные с генерацией и использованием синхротронного и терагерцового излучения. Представление о научной тематике «СИ-2010» даёт перечисление секций конференции: «Источники СИ и лазеры на свободных электронах», «Аппаратура для экспериментов с использованием СИ», «Дифракция и рассеяние», «Спектроскопия», «Рентгенофлуоресцентный анализ на СИ». В рамках конференции также проведено рабочее совещание по обсуждению проекта источника СИ четвертого поколения «MARS».

В текущем году тема конференции была сформулирована в соответствии с «Концепцией развития Сибирского отделения РАН до 2020 года». Согласно этому документу в Новосибирском научном центре СО РАН запланирована реализация проекта создания нового современного источника синхротронного излучения, который должен стать важным элементом инфраструктуры развития самых разных областей науки. Поэтому значительная часть пленарных докладов конференции была посвящена формированию научной программы будущего источника СИ, выработке дополнительных требований к источнику, расширению числа потенциальных экспериментальных групп Центра СИ и обеспечению поддержки в реализации проекта. На конференции заслушаны пленарные доклады ведущих учёных из разных институтов РАН с рассказом о наиболее интересных достижениях в различных областях науки, о научных проблемах и о возможном использовании синхротронного излучения для решения этих проблем. Такой подход к формированию программы конференции полностью себя оправдал - во время пленарных докладов наблюдалась повышенная активность работников СО РАН, для которых был организован свободный доступ на территорию ИЯФ во время проведения конференции.

Труды конференции готовятся к публикации в отдельном выпуске журнала «Поверхность». Рецензирование статей, присланных для публикации, производится силами экспертов, привлечённых Оргкомитетом конференции. Материалы устных докладов выложены в открытый доступ на сайте конференции по адресу <http://ssrc.inp.nsk.su/conf/SR2010/presentations/>





Рис.(6.6)1. Открытие конференции СИ-2010

### 6.6.2. Международный симпозиум по генерации и использованию терагерцового излучения

С 26 по 28 июля 2010 года в Академгородке проходил Международный Симпозиум «Терагерцовое излучение: генерация и применение», совмещенный со Школой молодых ученых и специалистов. Он был посвящен обсуждению фундаментальных и прикладных проблем генерации, регистрации и когерентного взаимодействия терагерцового излучения с различными средами. Фактически, это был первый научный форум в России, полностью посвященный области науки, развитие которой началось только в последние 15 лет прошлого столетия, а в России, вследствие известных событий, задержалось почти на 20 лет.

Проведение международного симпозиума стало возможным благодаря формированию в России терагерцового сообщества, инициированное как проведением «терагерцовых» секций на различных лазерных и оптических конференциях, так и Первым рабочим совещанием «Генерация и применение терагерцового излучения», проведенным 24-25 ноября 2005 года в Новосибирске. Большую роль в формировании сообщества сыграла финансовая поддержка исследований по данному направлению в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Электромагнитные волны терагерцового диапазона», действовавшей в 2006 – 2009 гг. и Программы ориентированных фундаментальных исследований РФФИ 2009 – 2010 гг. «Когерентное взаимодействие рентгеновского, синхротронного и терагерцового излучения с конденсированными средами».

В работе Симпозиума приняли участие 92 специалиста, в том числе 12 участников из Германии, Великобритании, Японии, Кореи, Китая, Нидерландов и Украины. Программа семинара состояла из однодневной пленарной сессии, двух параллельных устных сессий, постерной сессии и экскурсии на Новосибирский ЛСЭ. Было прочитано одиннадцать 40-минутных пленарных лекций, сделано шесть 40-минутных «ключевых» (keynote) докладов, 28 тридцатиминутных приглашенных докладов, 17 двадцатиминутных устных докладов и четырнадцать постерных докладов.

Постерная сессия проходила в центре коллективного пользования «Синхротронное и терагерцовое излучение» и была совмещена с экскурсией на Новосибирский ЛСЭ. Этот лазер, расположенный в «Сибирском центре фотохимических исследований», является самым мощным источником терагерцового излучения в мире (см. раздел ). В настоящее время для пользователей из России и зарубежья доступно шесть рабочих станций. Участникам Симпозиума показали ускоритель-рекуператор с двумя действующими лазерными резонаторами и продемонстрировали оборудование рабочих станций, доступное для пользователей.





Рис.(6.6)2. Экскурсия для участников Симпозиума на Новосибирский ЛСЭ.

К началу Симпозиума был выпущен сборник тезисов докладов (ISBN 978-5-904968-03-8). Избранные статьи по материалам докладов, представленных на Симпозиуме, публикуются в специальном выпуске Вестника НГУ, серия Физика, а также в International Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (Springer).

По мнению всех участников, Симпозиум прошел успешно. Он позволил исследователям, работающим в области терагерцового излучения, получить достаточно полную информацию об исследованиях, ведущихся в России и ряде зарубежных центров, детально обсудить эти работы, а также установить прямые контакты между представителями групп, работы которых вызвали взаимный интерес. По результатам Симпозиума принято решение о проведении таких форумов в России один раз в два года. Следующий Симпозиум планируется провести в 2012 году в Московском университете.

### 6.6.3. Школа для молодых специалистов «Синхротронное излучение в науках о земле»

С 11 по 15 октября 2010 года в ИЯФ СО РАН прошла 3-я Российская школа молодых специалистов по синхротронному излучению. Предыдущие школы были больше ориентированы на применение отдельных методов, реализованных в нашем Центре коллективного пользования: в 2008 году — EXAFS-спектроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ, в 2009 году — дифракционные методы. В этом году мы попытались сконцентрироваться на применении этих методов в конкретной научной области — «Синхротронное излучение в науках о Земле», в частности, в геохронологии, петрологии, археологии.

Школы молодых ученых по синхротронному излучению проводятся для того, чтобы дать представление о сути и возможностях рентгеноструктурных и спектроскопических методов с использованием синхротронного излучения. При этом очень важно, что здесь завязываются междисциплинарные научные контакты, которые особенно необходимы в молодые годы. Практические занятия, которые проводятся в рамках школы, дают представление об экспериментальной и методической базе Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения (СЦСТИ). Синхротронное излучение уже давно является неотъемлемой частью научно-исследовательской инфраструктуры,

обеспечивающей необходимые знания для прорывных технологий. Школы позволяют молодым ученым, работающим в различных отраслях науки, по-новому взглянуть на объект своих исследований. Регулярное проведение школ позволяет устанавливать надежные контакты со многими учеными из ведущих научно-исследовательских организаций Уральского-Сибирского региона.

Слушателями Школы стали 75 человек, из них 69 молодых специалистов из следующих городов: Дубна, Екатеринбург, Иркутск, Красноярск, Новосибирск, Снежинск, Томск.

Программа школы включала лекции - 23 академических часа, и практические занятия – 40 академических часов. В чтении лекций приняли участие 20 лекторов из числа ведущих сотрудников СЦСТИ, Института геологии и минералогии СО РАН и Сибирского федерального университета (Красноярск). По представленным лекторами материалам был подготовлен и издан сборник развернутых тезисов лекций.



Рис.(6.6)3. Слушатели и лектора Школы по синхротронному излучению.

#### 6.6.4. Конференция студентов и аспирантов СЦСТИ

26 апреля 2010 года была проведена 9-я ежегодная конференция студентов и аспирантов Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения. Цель конференции – ознакомление научного сообщества с деятельностью подрастающего поколения и совершенствование навыков студентов и аспирантов в умении представлять результаты своей работы. Одновременно конференция является частью конкурса молодых специалистов ИЯФ (секция синхротронного излучения).

На конференции было представлено 16 докладов, из них 13 докладов студентов НГУ и НГТУ, 2 доклада аспирантов ИЯФ, и 1 доклад аспиранта Института катализа. В комиссию конкурса входили как сотрудники ИЯФ, так и представители институтов - участников Сибирского центра СИ. Комиссией отмечен общий высокий уровень представленных работ и присуждено одно первое, два вторых и два третьих места.

### 6.6.5. Участие сотрудников СЦСТИ в других научных мероприятиях

- The 4<sup>th</sup> European XFEL Users' Meeting, DESY, Hamburg, Germany, January 27-29, 2010.
- Научно-практическое совещание: «Центры коллективного пользования научным оборудованием в современном секторе исследований и разработок», Москва, 19 февраля 2010 г.
- THz-bio workshop, THz-Bio Application System Center at Seoul National University (SNU), Seoul, Korea, 9 March 2010.
- X Международная конференция «Забабахинские научные чтения», РФЯЦ – ВНИИТФ, Снежинск, 15-19 марта, 2010 г.
- Заседание Рабочей группы по XFEL, РНЦ «Курчатовский институт», Москва, 15 апреля 2010 г.
- European XFEL MAC meeting, 5-6 May 2010, Hamburg.
- Workshop on 50 Anniversary of DESY, Hamburg, Germany, 18-22 May 2010.
- International particle accelerator conference IPAC 2010, Kyoto, Japan, 23-28 May 2010
- International conference “Fundamentals of laser assisted micro- and nanotechnologies”. (FLAMN-10), St. Petersburg – Pushkin, Russia, July 5-8, 2010.
- New perspectives of high energy physics, 13<sup>th</sup> ISTC SAC seminar, Novosibirsk, Russia, 1-5 September, 2010.
- 35<sup>th</sup> International conference on infrared, millimeter and terahertz waves IRMMW-THz 2010, Rome, Italy, 5-10 September 2010.
- VII Форум межрегионального сотрудничества Республики Казахстан и Российской Федерации с участием глав государств на тему «Сотрудничество в области устойчивого развития высоких технологий», Усть-Каменогорск, 7-8 сентября 2010 г.
- Рабочее совещание «Рентгеновская оптика – 2010», г. Черноголовка, 20-23 сентября 2010 г.
- VIII Международная конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП – 2010, Новосибирск, 22-24 сентября, 2010 г
- XXII Russian particle accelerator conference, RuPAC-2010, Protvino, Russia, 2010, Sept. 27 – Oct. 1.
- Strategy of development of large-scale research infrastructures of the Russian Federation and cooperation with the European Union: Third Intern. workshop, October 29, 2010, Nancy, France.
- The 17<sup>th</sup> international symposium on laser spectroscopy, SOLS 2010, November 4-5, 2010, KAERI Daejeon, Korea.
- 3<sup>rd</sup> meeting of the European XFEL Machine Advisory Committee (MAC), Hamburg, Germany, November 11-12, 2010.
- 2<sup>nd</sup> JAAWS at PAL, Pohang, Korea, 28-29 November 2010.

**7**  
**Радиофизика**  
**и**  
**электроника**





## Введение

Работы ИЯФ в области радиофизики и электроники сосредоточены, в основном, в Радиофизической лаборатории. Основная тематика лаборатории связана с разработкой и исследованиями радиофизических систем для ускорителей и накопителей заряженных частиц, которые, в свою очередь, разрабатываются Институтом в соответствии с основными направлениями деятельности Института.

В рамках этих направлений сотрудники лаборатории занимаются разработкой разнообразного радиоэлектронного оборудования: систем питания, управления, диагностики, систем компьютерного управления; высокочастотных ускоряющих систем и источников ВЧ и СВЧ энергии; исследованием поведения пучков заряженных частиц во взаимодействии с ускоряющими системами и с другими элементами и устройствами ускорителей и накопителей заряженных частиц. Очевидно, что основные результаты работы лаборатории являются частью общих результатов исследований и работ, проводимых на действующих комплексах: ВЭПП - 4, ВЭПП-2000, ЛСЭ, Инжекционного комплекса, работ по физике плазмы.

Как следствие универсального характера некоторых разработок лаборатории, часть из них становится основой для разработки приборов и устройств, имеющих самостоятельную научную или технологическую ценность. Некоторые разработки в той или иной степени применяются и используются в работах по другим тематикам Института, при выполнении работ по контрактам с российскими и зарубежными научными центрами из США, Германии, Швейцарии, Японии, Китая, Южной Кореи.

Здесь следует особо отметить контрактные работы для CERN по созданию элементов LHC, завершившиеся в 2008 – 2009 годы; работы для Зеленограда по созданию источника синхротронного излучения ТНК, которые будут продолжаться еще несколько лет; работы по созданию инжекторов нейтральных атомов для организации Tri Alpha Energy (ТАЕ, США). Пусковые работы по комплексу ТАЕ уже перешли в исследовательский режим, принося в ИЯФ новые интересные контрактные работы.

Ниже кратко приведены некоторые результаты работ, проводившихся в 2010 году, и ориентиры по работам, которые будут продолжены в 2011 году и в дальнейшем.

## 7.1 Источники питания электрофизических установок

### 7.1.1 Источники стабилизированного тока

Разработка источников стабилизированного тока для питания различных электрофизических установок и отдельных их узлов является одной из главных задач, проводимых в Радиофизической лаборатории. Устройства этого класса включают, прежде всего, источники постоянного тока для питания электромагнитов накопителей заряженных частиц. Выходной ток таких источников, в зависимости от задачи, имеет значение от единиц ампер до десятков килоампер. Соответственно, выходная мощность - от десятков ватт до сотен киловатт и единиц мегаватт. Источники тока, как правило, имеют широкий диапазон регулирования величины тока (до 60 дБ) и высокую точность регулирования и стабилизации (погрешность 0,01% и меньше). Источники тока являются сами по себе сложными электрофизическими устройствами с компьютерным управлением, контролем, тестированием, со сложной системой блокировок и устройств внутреннего контроля. Аналогов российская промышленность не выпускает.

Вследствие многолетней непрерывной работы источников питания и измерительной аппаратуры в составе физических комплексов (ускорителей и накопителей заряженных частиц) происходит физическое устаревание электроники, что ведет к росту эксплуатационных расходов и к вынужденным простоям комплексов.

В 2010 году была продолжена многолетняя работа по модернизации электроники прецизионных источников серии “ИСТ”, предназначенных для питания электромагнитов. Это устройства мощностью 50 кВт, 100 кВт и 200 кВт с тиристорным регулятором и с каналом подавления пульсаций. Источники управляются встроенными одноканальными 16-разрядными ЦАП (CEAC121),

для измерения тока применены бесконтактные магнитомодуляционные датчики тока (DCCT). В 2010 году модернизировано пять ИСТ-ов. Напомним, что модернизация включает в себя замену электроники, внутришкафного электромонтажа и конденсаторных батарей. Изготовлено и налажено 18 комплектов электроники управления ИСТ-ами, что обеспечивает модернизацию нескольких ИСТ-ов и тринадцати источников типа В-1000 (1000 А, 20 В) в 2011 году.

- В ушедшем году были продолжены разработка, изготовление и тестирование электроники и силовых узлов устройств реверса тока нагрузки для ИСТ-ов канала К-500, который предназначен для транспортировки электронов и позитронов на комплексы ВЭПП-2000 и ВЭПП-4. Электроника и силовые узлы установлены в ИСТ-ы канала и ожидают своей очереди в плане пусковых и монтажных работ комплекса.

- В ушедшем 2010 году Завод Низковольтной Аппаратуры (НВА, Рассказово, Тамбовской обл.) поставил в ИЯФ четыре источника тока (350А, мощностью от 50 до 200 кВт) для питания магнитной системы установки электронного охлаждения ионов (COSY, Германия). Источники испытаны и подготовлены к работе на стенде COSY в ИЯФ. Дополним, что эти источники выполнены в шкафах Евромеханики, а пять комплектов управляющей электроники, также в Евростандарте, были специально для этой программы разработаны и изготовлены в ИЯФ. Планируется, что в 2011 году завод изготовит для ИЯФ ещё два источника (2 кА, 60 и 120 кВт), также с нашей управляющей и измерительной электроникой.

- Продолжалась модернизация и текущая эксплуатация основных источников питания БЭП и ВЭПП-2000 – устройств мегаваттного диапазона мощностей с током до 10 кА, а также введён в работу на стенде магнитных измерений источник типа ИСТ – 800 А, 230 В (изготовлен в Рассказово по контракту). Также на стенде в результате модернизации появился источник тока с выходным током до 2,5 кА.

- В источнике питания БЭП отработан режим «Реверса».

- Начато проектирование источников питания диполей для бустера NSLS-II. Работа будет выполняться в 2011 году по кооперации совместно с Danfysik, Дания.

Продолжалась разработка и ввод в эксплуатацию источников тока с выходной мощностью до 10кВт, выполненных по Switch Mode технологии:

- Для фирмы «Криомагнит» для питания сверхпроводящих соленоидов (по контракту) поставлены реверсивные источники тока: два источника  $\pm 300$  А, 8 В и один источник с током до  $\pm 1000$  А, 5 В.

- Для комплекса ВЭПП-2000 была продолжена адаптация вновь изготовленных источников тока. Это 300 А, 8 В, 12 шт., питание сверхпроводящих соленоидов. А также, в соответствии с потребностью комплекса, для повышения мощности питания четырех квадрупольных линз применены четыре сдвоенных источника тока.

- Однополярные источники тока с максимальными параметрами 300 А/18 В, разработанные для питания элементов магнитной системы ЛСЭ, успешно проработали на питании первой очереди магнитов ЛСЭ, поэтому в 2010 году продолжена постановка таких источников для питания магнитной системы второй очереди ЛСЭ. Напомним, что в 2008 году пять источников из этой серии поставлены в ОИЯИ (г. Дубна) и успешно работают на комплексе ИРЭН.

Каждый из перечисленных Switch Mode источников оборудован двумя бесконтактными датчиками тока: один - для осуществления стабилизации, другой - для независимых измерений. Каждый источник тока снабжен также встроенным управляющим ЦАП/АЦП модулем. Долговременная нестабильность выходного тока источников не превышает 50 – 100ppm.

- В рамках Switch Mode технологии продолжены разработки, расширяющие области применения силового узла, разработанного для энергоблока электронно – лучевой сварки. В результате в лаборатории появились версии преобразователей с частотой 20 кГц и выходной мощностью 10 кВт, 15 кВт, 40 кВт и 60 кВт. Эти преобразователи в сочетании с выходными выпрямителями и согласующими трансформаторами послужили основой для следующих разработок, начатых в 2009 году и планируемых на последующие годы:

- собран стенд для испытаний и наладки источников питания колонны (COSY);

- собран и испытан источник питания колонны COSY: 60 кВт, 500 В, 20 кГц. Источник испытан при выходной мощности до 60 кВт. Долговременная работа возможна на мощности до 50

кВт. Производится доработка для обеспечения работы на мощности 60кВт и более. Источник выполнен в 5-этажной 19” стойке конструктива Евромеханика по модульному принципу. В 2011 году источник будет установлен на установке электронного охлаждения COSY в ИЯФ с последующей поставкой в Германию.

- Проведена разработка и начата сборка двух источников тока 1000 А, 30 кВт, также работающих на частоте 20 кГц. Испытания планируются на 2011 год.
- В рамках контракта с BNL (США) спроектированы и переданы в цех элементы источников питания квадрупольных линз для бустера (Контракт, BNL).
- Начаты новые разработки источников питания для сравнительно «Маломощных» инжекторов ионов: 50 кВ, 15 и 30 кВт, разработана конструкция, заказаны детали.

Продолжались разработка, усовершенствование и изготовление небольшими сериями сравнительно маломощных источников тока, обеспечивающих питание корректирующих электромагнитов или специальных устройств.

- Завершено изготовление и наладка полного комплекта источников тока для питания корректоров комплекса ТНК. В 2010 году отправлено в Зеленоград около 40 каналов (два шкафа), завершая, таким образом, поставки (около 200 каналов 5А, 30 В). Система ожидает окончания монтажа магнитной системы ТНК и трасс.
- Комплект источников тока для питания мультипольных линз ТНК, содержащий источники тока MPS-20-100 ( $\pm 20$  А, 100 В) в количестве 11 шт., а также источники тока MPS-20-50 ( $\pm 20$  А, 50 В) в количестве 3шт. также отправлены в Зеленоград в 2010 году.
- Планируется, что в следующем, 2011 году, около десяти каналов 20-амперных источников будет поставлено на Инжекционный комплекс, для замены устаревших физически и морально источников тока ТИР-25.
- Разработаны, изготовлены и настраиваются источники питания корректирующих электромагнитов для проекта COSY. Это источники серии MPS (6А)- около 50 каналов, и восемь источников тока с выходным током до 20 А, из них шесть источников типа «шунт».
- Сданы в производство источники питания корректоров для канала К-500.
- Изготовлено и введено в эксплуатацию около 20 каналов двупольных источников тока типа УМ-1, УМ-3 и УМ-10 с выходными токами 1 А, 3 А и 10 А соответственно. Источники установлены на комплексах: ЛСЭ, ЭЛС, ЛИУ. Сданы в производство, а в 2011 году будут поставлены на накопитель – охладитель и на линак инжекционного комплекса еще около 50 каналов источников тока для питания корректоров.

### 7.1.2 Высоковольтные источники. Электроника для диагностических и нагревных инжекторов нейтральных атомов

Развитие в предыдущие годы тематики диагностических и нагревных инжекторов нейтральных атомов создало заметный спрос на них со стороны зарубежных центров, занимающихся физикой плазмы. Это, в свою очередь, привело к интенсификации загрузки участников этих работ, как в части разработок, так и в изготовлении и поставках инжекторов с полной комплектацией питанием и системой компьютерного управления и контроля.

В перечисленных ниже разработках и поставках 2010 года порой трудно провести линию разграничения – где кончается разработка электроники и где – разработка собственно инжектора. Ниже - неполный перечень этих работ.

1. Изготовлены и переданы в эксплуатацию заказчику два комплекта электроники питания и управления «нагревными» инжекторами для токамака “Compass-D” (IPP, Прага, Чешская республика). Параметры основных источников питания приведены ниже:

Источник высоковольтного питания:	40 кВ/15 А/500 мс.
Источник питания запорной сетки:	500 В/10 А/500 мс.
Источник тока поворотного магнита:	400 А/25 В/500 мс.

2. Закончен ввод в эксплуатацию и проведена модернизация электроники высоковольтного питания четырёх «нагревных» инжекторов в ТАЕ (США). Основной целью модернизации являлась

возможность работы атомарных инжекторов без дорогостоящих мотор – генераторов. Длительность рабочего цикла инжектора сокращена с одной секунды до восьми миллисекунд, что позволило использовать уже существующие в системе накопители энергии.

Достигнутые после модернизации  
параметры источников: 20 кВ/60 А/8 мс.

3. В 2010 году проведена разработка концептуального проекта системы высоковольтного питания инжектора отрицательных ионов

Энергия отрицательно заряженных ионов до 1 МэВ  
Мощность в пучке до 3 МВт

4. Начато проектирование и изготовление системы высоковольтного питания стационарного инжектора отрицательных ионов

Энергия ионов до 120 кэВ  
Ток до 30 мА

### 7.1.3 Высоковольтные источники. Электроника Энергоблоков для электронно-лучевой сварки (ЭЛС)

В 2010 году совместно с сотрудниками НИТИ «Прогресс» (г. Ижевск) была продолжена работа по применению энергоблоков и установок ЭЛС на предприятиях страны. В настоящее время шесть установок ЭЛС с нашими энергоблоками работают в технологических цепочках на предприятиях России. Один энергоблок используется на стенде ИЯФ.

Одновременно в течение отчетного года продолжалась разработка и изготовление элементов и узлов энергоблоков и их систем питания, управления и контроля для установок электронно-лучевой сварки и для сопряженных тематик.

- Спроектирован и собран источник высоковольтного напряжения для нового инжектора ЛСЭ (150 кВ 100 мА). Высоковольтная колонна выполнена на основе умножителя с рабочей частотой 20 кГц. В первой половине 2011 года источник будет поставлен на ЛСЭ.

- Продолжена модернизация комплектов ЭЛС с выходной мощностью 60 кВт, 30 кВт, 15 кВт – для проведения последующих контрактных работ; в том числе – начата разработка пятикиловаттного энергоблока.

- В 2010 году в рамках контракта COSY проведена разработка источника питания коллектора электронов в высоковольтной колонне установки электронного охлаждения. Источник 5 кВ, 3 А находится в высоковольтном терминале высоковольтной колонны. Источник выполнен в виде пяти секций с выходным напряжением 1 кВ, включенных последовательно по выходу. По входу все секции запитываются параллельно от трансформаторной линии колонны. Четыре секции представляют собой нерегулируемые преобразователи, которые могут быть включены или выключены, а одна секция является регулируемым преобразователем. Управление осуществляется по оптическому каналу. Источник собран, испытывается и будет вводиться в работу в 2011 году.

- Введена в работу модернизированная система высоковольтного питания для Источника отрицательных ионов. Это несколько регулируемых прецизионных стабилизаторов с напряжением до 40 кВ, мощностью до 2 кВт. Работы будут продолжены в 2011 году для получения оптимальных параметров пучков.

- В конце 2009 - в начале 2010 годов продолжились разработки для К-500 (каналы транспортировки электронов и позитронов), что позволило успешно изготовить 25 источников (генераторов) импульсного питания для магнитных элементов каналов. Источники работают с накопительной емкостью 100 мкФ, максимальное напряжение – 700 В с предварительным выбором полярности импульса тока. Рабочая частота – 1 Гц. Управление и контроль – через контроллер СЕАС124. Электроника выполнена в «Евромеханике».

- Другой вариант импульсного генератора разработан для фокусирующей системы ЛИУ. Изготовлено и поставлено на ЛИУ шесть генераторов.

Следует также упомянуть, что и в 2010 году продолжалась техническая поддержка в рабочем состоянии ранее изготовленных систем и их узлов, находящихся в эксплуатации на установках Института и за его пределами.

## 7.2 Разработка измерительных систем и устройств автоматизации физических экспериментов

Участие лаборатории в автоматизации установок, стендов и больших физических комплексов состоит:

- В разработке и поставке готовых систем (систем управления, контроля, диагностики, компьютерных систем) с последующим участием авторов в адаптации систем к физическим установкам;
- В разработке элементов контроля, управления, таймирования систем питания с последующей комплексной поставкой этих систем на ускорители и накопители заряженных частиц и с исследованием их влияния на комплекс в целом;
- В поставке отдельных унифицированных модулей (КАМАК, VME, "Вишня", "Евромеханика") в действующие или в новые установки и стенды;
- В разработке новых подходов, методик и, как следствие, новых устройств, позволяющих решать физические экспериментальные задачи на новом уровне;
- В модернизации существующих систем автоматизации, управления и диагностики на действующих физических установках;
- В ремонте и техническом обслуживании нескольких тысяч блоков электроники и целых систем, разработанных и находящихся в эксплуатации.

Аппаратура, разработанная и произведенная в ИЯФ, широко используется не только в СО РАН, но и во многих научных организациях России и за рубежом. Номенклатура ежегодно выпускаемой аппаратуры составляет несколько десятков типов цифровых, аналоговых и цифро-аналоговых устройств, блоков или модулей.

- Изготовлены, налажены и переданы в эксплуатацию очередные 100 различных блоков с интерфейсом CAN-BUS для систем управления и контроля электрофизическими установками. За истекший год семейство пополнилось двумя новыми модулями: VSDC2- двухканальный измеритель мгновенных значений и формы импульсных магнитных полей, IVI1811- двухканальный измеритель временных интервалов наносекундного диапазона. Подробное описание модулей размещено на сайте лаборатории.

- Следует отметить, что устройства этого семейства широко используются и при выполнении контрактных работ. За последние годы более половины произведенных модулей (всего 900 штук) в комплекте с различными источниками питания и в составе контрольно-измерительных комплексов поставлены в ОИЯИ (Дубна), КИСИ (Москва), ТНК (Зеленоград), НИТИ «Прогресс» (Ижевск), KAERI (Южная Корея), IMP (Китай).

- В Институте интенсивно эксплуатируются несколько систем для различных магнитных измерений на основе аппаратуры нового поколения, позволяющей проводить прецизионные измерения полей как с помощью матриц на датчиках Холла, так и с помощью подвижных катушек. В состав набора входят:

- прецизионный АЦП со встроенным аналоговым коммутатором;
- 32-канальный коммутатор с погрешностью коммутации 1 мкВ, для работы с датчиками Холла в модуле предусмотрен прецизионный (0,001 %) генератор тока;
- прецизионный интегратор с цифровым выходом.



Таблица (7.1) 1. Семейство устройств с CAN-BUS интерфейсом

Название	Краткая характеристика
CANDAC16	16-канальный, 16-разрядный ЦАП, 8-битовые входной и выходной регистры
CANADC40	40-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,03%), 8-битовые входной и выходной регистры
CDAC20 CEDAC20	20-разрядный ЦАП, 5-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 8-битовые входной и выходной регистры (Вишня и евромеханика)
CEAC51	20-разрядный ЦАП, 5-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 8-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U)
CAC208 CEAC208	8-канальный 16-разрядный ЦАП, 20-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 8-битовые входной и выходной регистры (Вишня и евромеханика)
CEAC124	4-канальный 16-разрядный ЦАП, 12-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 4-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U)
CEAC121	1-канальный 16-разрядный ЦАП, 12-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 4-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U), ориентирован для управления быстрыми источниками
CEAD20	20/40-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 4-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U)
CGVI8	8-канальный, 16-разрядный генератор задержанных импульсов, 8-битовые входной и выходной регистры
CPKS8	8-канальный, 16-разрядный преобразователь код-скважность
SLIO24	Интерфейс CANbus - 24-разрядная двунаправленная шина, встраиваемая плата
CKVCH	Коммутатор высокочастотных сигналов 8-1, 2*(4-1), 4*(2-1)
CANIPP	Интерфейс CANbus- 2 ветви типа ИПП
CANIVA	16-канальный измеритель вакуума (тока магниторазрядного насоса)
CURVV	Универсальный регистр ввода/вывода (2 выходных и 4 входных регистра по 8 бит)
CIR8	Регистратор дискретных сигналов (регистр прерывания, СДС, регистры ввода/вывода)
CAC168	8-канальный 16-разрядный ЦАП, 16-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,03%), входной и выходной регистры, встраиваемая плата
CAN-DDS	Модуль CAN-DDS представляет собой делитель входной тактовой частоты с дистанционно перестраиваемым дробным коэффициентом.
CAN-ADC3212	Для замыкания цепи обратной связи в схеме термостройки высокочастотных резонаторов.
CANGW	Шлюз Ethernet - CAN/RS485
VME-CAN	Интерфейс VME-CAN.
CEIO A	Многопортовый регистр ввода/вывода.
GZI-CAN	4-канальный генератор задержанных импульсов, 80 нс – 10,28 мкс
VSDC2	Модуль для прецизионного измерения магнитных полей с помощью индукционного метода, 2 канала
IVI1811	Измеритель временных интервалов с разрешением 0,5 нс

- Разработана, изготовлена и запущена электроника стенда магнитных измерений квадрупольных линз NSLS-2. Для работы на стенде написано новое программное обеспечение. В отличие от предыдущих разработок, оборудование стенда позволяет довести погрешность измерения мультитипольных компонент до уровня лучше, чем  $10^{-5}$ .

- Проведены магнитные измерения радиационно-стойкого магнита GSI, изготовленного в 2009 году. При измерениях впервые применялось определение координаты каретки с помощью лазерного интерферометра и специально разработанной электроники.

- Изготовлена партия модулей VSDC2, предназначенных для измерения мгновенных значений импульсных магнитных полей в каналах ускорительно - накопительных комплексов ИЯФ. Продолжается их тестирование на комплексе ВЭПП-2000. Устройство должно заменить устаревшей модуль БИИП-4.

- Запущена система управления линейным индукционным ускорителем для импульсной рентгенографии. Система управления, выполненная на базе современного стандарта CompactPCI, обеспечила успешный запуск ускорителя в ноябре 2010 года.
- Для оснащения системы управления ЛИУ разработаны и изготовлены в необходимых количествах PCI-модули 5 типов.
- Для замены дорогостоящих носителей РМС-плат, необходимых в больших количествах в системе управления ЛИУ, выполнена разработка собственного модуля, полностью соответствующего стандарту Compact PCI. Необходимое количество модулей произведено, налажено и установлено в систему управления ЛИУ.
- На комплексе ВЭПП-2000 модернизированы программы в блоках управления источниками питания, что позволило упростить процесс перестройки токов в магнитных элементах накопителя.
- Поставлена заказчику и введена в строй система для управления электронной пушкой и каналом в рамках контракта модернизации охладителя ионов в IMP (Ланьчжоу, Китай). Система включает в себя около 20 электронных модулей, в том числе быстрые высоковольтные формирователи (3 кВ) с регулируемой амплитудой. Новая электроника обеспечивает модуляцию энергии охлаждающего электронного пучка.
- Изготовлен и настроен комплект модулей электроники для управления электронной пушкой охладителя ионов для COSY.
- Изготовлен и испытан прототип электроники для системы юстировки магнитного поля охладителя ионов (для COSY). Начата разработка двух вариантов электроники с ручным управлением и с управлением от ЭВМ.
- В рамках выполнения контрактной работы лаборатория принимала участие в проектировании системы управления для бустера NSLS-II.
- Продолжены работы по созданию системы управления четырехдорожечного ЛСЭ.
- Начата разработка таймера (90 МГц) для нового модулятора пушки инжектора.
- Продолжена разработка нового поколения источников питания и модулятора электронной пушки инжектора лазера на свободных электронах.
- Продолжена работа по внедрению современных интеллектуальных контроллеров в системах управления физических установок. Изготовлена очередная партия контроллеров и шлюзов CAN-Ethernet для различных установок института.
- Для замены устаревшего оборудования для систем питания основных магнитных элементов накопителя ВЭПП-4 разработан прецизионный (0,002%) интерполирующий ЦАП с интерфейсом MIL-STD-1553B с использованием современной элементной базы. Модуль программно и аппаратно совместим с предыдущей устаревшей разработкой. Необходимое количество модулей изготовлено, налажено и установлено.
- Проверено при работе в реальных условиях и скорректировано встроенное программное обеспечение шлюзов-мультиплексоров для системы сбора данных на детекторе КМД-3.
- Поставлено и запущено в работу 3 комплекта управляющих систем для инжекторов нейтральных пучков (диагностический и нагревательный варианты инжекторов). Системы базируются на коммерчески доступных компонентах. Математическое обеспечение унифицировано для обоих вариантов инжектора и предусматривает интеграцию в общую систему управления.
- Для установок электронно-лучевой сварки разработан новый источник питания с возможностью косвенного подогрева катода электронным пучком. Целью данной разработки является поиск варианта и конструкции катода со значительно увеличенным временем жизни.
- Проведены первые эксперименты по измерению поперечных размеров пучка в установках электронно-лучевой сварки. Полученные результаты показали, что измерительная система работает устойчиво и может быть использована для оперативного контроля параметров электронного пучка.
- Матричный ПЗС TC237 опробован в режимах быстрого накопления изображений (0,25 - 1 мкс на изображение). Для тестирования временного и пространственного разрешения в этих режимах был разработан специальный оптический стенд.
- Разработан и испытан высоковольтный (10 кВ) линейный усилитель на транзисторах. Данная разработка позволяет значительно упростить электронику управления электростатическими устройствами физических установок. (Препринт ИЯФ 2010-32)
- Запущен в работу на комплексе ВЭПП-2000 измеритель временных интервалов в нано-

секундном диапазоне с интерфейсом CAN-BUS. Устройство предназначено для контроля работы систем «впуск-выпуск».

- Продолжена разработка двухканального измерителя сверхмалых токов для ионизационных камер.

- Начата разработка системы контроля основных параметров теплового насоса, используемого в системе охлаждения ускорительных комплексов.

- Изготовлены и введены в работу три комплекта новой электроники для пикапов ВЭПП-4. Для них также разработано программное обеспечение. Новая электроника позволяет различать сгустки вблизи места встречи и имеет повышенную точность измерения смещений сгустков.

- Изготовлен полный комплект электроники для измерения орбиты и бетатронных частот для ТНК. Часть аппаратуры отправлена на ТНК.

- Разработаны, изготовлены и проверены прототипы всех блоков электроники для пикапов COSY. Начато изготовление серии блоков для 12 пикапов. Начат обмер пикапов на стенде.

- Разработан и изготовлен прототип блока обработки сигналов для системы измерения бетатронных частот для бустера NSLS-II (BNL).

- Закончены разработка и изготовление усилителя ВЧ мощности (4 МГц) для нагрева плазмы. Испытана работа усилителя на чисто активную нагрузку и на контур – эквивалент антенны. При 8 кВт выходной мощности усилителя в активной нагрузке контура получено 5 кВт, что оценивается как неплохой результат.

- Разработан и изготовлен прототип новой прецизионной "пикапной электроники" для ВЭПП-3 и для других возможных накопителей. ВЭПП-3 предполагается оснастить ей в 2011 году.

- Для ВЭПП-4 изготовлена и введена в работу аппаратура для селективной деполяризации отдельных сгустков электронов.

- Введены в работу электронный и позитронный каналы системы поперечной обратной связи, предназначенной для подавления бетатронных колебаний пучков на комплексе ВЭПП-4. Аппаратура испытана на всех доступных токах пучка на энергии до 2 ГэВ. Будет продолжена отработка различных режимов работы системы – при подъеме энергии, при измерении бетатронных частот, при работе на большее количество сгустков (до 8-ми). В конце года при участии работников комплекса началось создание программного интерфейса системы.

- Произведена настройка второго блока амплитудно-фазовых измерений на инжекционном комплексе. В конце года возобновилась работа с нашим участием по модернизации элементов существующей схемы ВЧ-системы.

- На комплексе ЛСЭ была продолжена наладка систем диагностики пучка для третьей и четвертой дорожек и, базируясь на результатах измерений орбиты пучка, настройка всего комплекса.

- Разработаны и начата постановка на Инжекционный комплекс новых блоков согласования сигналов и быстрой защиты для модулятора клистрона 5045.

- Изготовлены и поставлены в университет штата Монтана (США) 12 емкостных и 12 ультразвуковых гидростатических датчиков, модернизированных по сравнению с предыдущей версией. Система снабжена собственным программным обеспечением. Также по контракту осуществлена поставка в КЕК (Япония) 10 емкостных гидростатических датчиков.

- Выполнена большая часть работ по изготовлению 18 гидростатических емкостных датчиков вертикальных перемещений для SLAC (США). Датчики будут отправлены заказчику в 2011 году.

- Продолжены работы по развитию сайта лаборатории. <http://www.inp.nsk.su/activity/automation/index.ru.shtml> Данный сайт должен способствовать более полному и корректному использованию разработок лаборатории. Для этого, помимо описаний различных модулей, появились руководства по эксплуатации (application notes). Сайт регулярно обновляется.

## 7.3 Исследования, связанные с моделированием и решением электростатических и электродинамических задач ускорительной физики

1. Продолжены работы по дальнейшему развитию программ для расчета электростатических и магнитостатических полей, электронных и ионных пушек. В том числе:

- Проводилось усовершенствование алгоритмов программы ExtraSAM, позволяющей проводить расчёт аксиально-симметричных электронно- и ионно-оптических систем с учетом объемного заряда и теплового разброса поперечных скоростей частиц пучка. Также реализована возможность моделировать в низкочастотном приближении эмиссию интенсивного пучка заряженных частиц в ВЧ полях.

- Проводилось усовершенствование алгоритмов программы MAGEL3B, позволяющей рассчитывать трехмерные системы транспортирования пучков заряженных частиц, состоящих из элементов, предварительно рассчитанных с помощью программ ExtraSAM и MAGEL3D, с учетом объемного заряда и теплового разброса поперечных скоростей частиц пучка.

2. Проведены работы по численным расчетам, моделированию и проектированию электронных пушек, электронных и ионных пучков, а также магнитных систем. В том числе:

- В рамках контракта с лабораторией TAE (США) продолжались работы по расчету с помощью программ ExtraSAM, MAGEL3D и MAGEL3B системы формирования, ускорения и транспортировки 10 А квазистационарного ионного пучка мощностью 10 МВт с учетом поперечной температуры и объемного заряда пучка. Система включает в себя большое количество магнитов и электронно-оптических элементов сложной конструкции.

- В рамках сотрудничества по проекту БНЗТ с помощью программы MAGEL3B проводился подбор параметров магнитных элементов канала транспортировки протонного пучка высокой энергии для БНЗТ. Получено хорошее совпадение результатов расчета и измерения размеров неразвернутого и развернутого пучка на нейтронной мишени установки.

- В рамках сотрудничества по контракту о поставке 100 кВт промышленного ВЧ ускорителя ИЛУ-14 с помощью программы ExtraSAM проводилось моделирование внутренней инжекции и динамики электронного пучка в ускорителе с учетом объемного заряда пучка. Была показана возможность инжекции и проведения сквозь структуру ускорителя пучков с энергией 7,5 МэВ и 10 МэВ с требуемой мощностью 100 кВт.

- В рамках контракта по созданию мощного источника нейтральных частиц было осуществлено моделирование и оптимизация магнитного поля в плазменной перезарядной мишени.

- В рамках контракта по созданию высоковольтной установки электронного охлаждения для COSY были разработаны электронная пушка и коллектор. Электронная пушка отличается возможностью управления распределением плотности тока для оптимизации процесса электронного охлаждения при сохранении умеренной поперечной температуры пучка.

## 7.4 ВЧ генератор для резонансного ускорителя электронов на основе коаксиального резонатора

В течение нескольких лет в РФЯЦ-ВНИИЭФ проводится работа по проектированию и созданию мощного облучательного комплекса на основе резонансного ускорителя электронов с широким диапазоном выходной энергии электронного пучка от 1 до 8 МэВ со средней мощностью до 300 кВт. Ускоряющей структурой проектируемой установки является полуволновой коаксиальный резонатор. На этапе макетирования установки для получения электронных пучков в заданном энергетическом диапазоне с токами около 1 мА в качестве системы ВЧ питания предполагается использовать ВЧ генератор, спроектированный и изготовленный в Институте ядерной физики СО РАН.

### Основные технические параметры ВЧ генератора

Диапазон рабочих частот	98 ... 102 МГц
Максимальная выходная мощность	180 кВт
Регулировка выходной мощности	0 ... 100%
Режим работы	непрерывный
Волновое сопротивление выходного фидера	50 Ом
Диаметры коаксиального фидера	160 x 70 мм
Промышленный к.п.д. генератора	не менее 40%
Параметры питающей сети	3-х фазное напряжение 380 В, 50 Гц

В состав ВЧ генератора входят: трехкаскадный усилитель мощности, источники питания анодов, экранных, управляющих сеток, накалов ламп и система управления амплитудой ускоряющего напряжения. Выходной каскад усилителя выполнен на мощном генераторном тетроре ГУ-101А, в промежуточном каскаде используется тетрод ГУ-92А. Первый каскад усиления - полупроводниковый. Каждый каскад представляет собой отдельный экранированный модуль, устанавливаемый открыто, то есть без шкафов. Возбуждение выходного каскада мощностью до 10 кВт поступает от промежуточного каскада по жесткому коаксиальному фидеру. Анодный источник питания ВЧ генератора состоит из трех секций, конструктивно объединенных в один блок. Остальные источники питания ламповых каскадов смонтированы в шкафу управления ВЧ генератором. Система управления расположена в корзине шкафа управления.

**Выходной каскад** ВЧ генератора собран на тетроре ГУ-101А по схеме с общей сеткой. Конструктивная схема выходного каскада показана на рис.(7.4)1. Выходной резонатор (2) представляет собой одиночный параллельный колебательный контур (анодный контур), конструктивно выполненный в виде длинной линии с волной типа ТЕМ, образованной последовательным соединением отрезков коаксиальных линий с общей длиной  $\frac{3}{4}$  длины волны. Один торец линии присоединен к выводам анода и экранный сетки лампы (1), второй – короткозамкнут. Характеристическое сопротивление эквивалентного резонансного контура – 3,9 Ом. Собственная добротность контура - около 3000, нагруженная добротность – 85. Блокировочные конденсаторы (3) и (4) отделяют постоянные потенциалы анода и экранный сетки лампы от заземленного корпуса.

Настройка анодного контура в резонанс с рабочей частотой осуществляется плунжером (5). Перемещение плунжера, изменяющего емкость, вносимую в анодный контур, осуществляется механизмом, управляемым дистанционно. Связь с нагрузкой – емкостная. Величину емкости связи можно изменять перемещением плунжера (6). Коэффициент связи нагрузки с анодным контуром устанавливается таким образом, чтобы для фактических величин сопротивления нагрузки и выходной мощности, режимы работы лампы не превышали предельно-допустимых. Отсутствие скользящих контактов в конструкции плунжеров повышает надежность работы генератора.

Входной резонатор (7) также является одиночным параллельным колебательным контуром, состоящим из отрезков коаксиальных линий, нагруженных с одного торца емкостью между катодом и управляющей сеткой лампы, а с другого – конструктивной емкостью пластины (8). Эквива-



лентная длина резонатора, образованного этими элементами равна  $\frac{1}{2}$  длины волны. Питание на электроды лампы подается через высокочастотные фильтры.

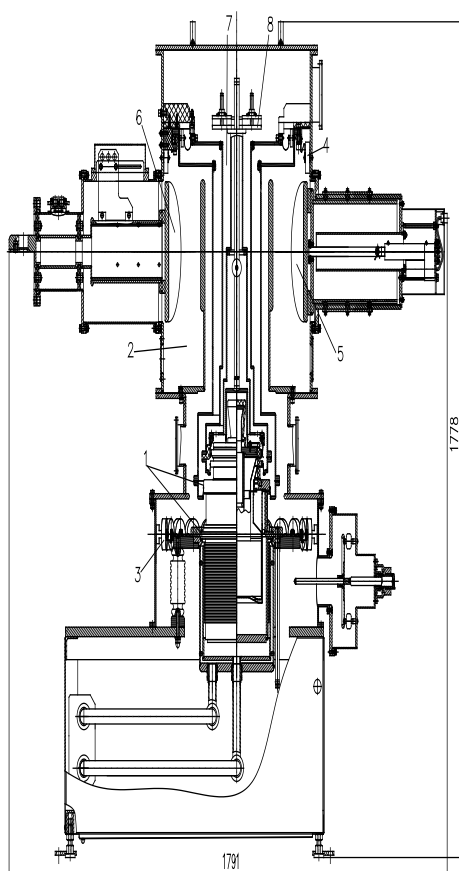


Рис.(7.4)1. Конструктивная схема выходного каскада генератора 100 МГц

В выходном коаксиальном фидере установлен направленный ответвитель для измерения коэффициента отражения от нагрузки генератора.

Для эффективного контроля качества сборки контактных узлов, соединяющих лампу с резонансными контурами каскада, каскад конструктивно разделен на две основных части. Первая часть, включающая в себя лампу с контактными пружинными коронками, водяным баком и частью ВЧ контуров собирается вне корпуса каскада. При этом обеспечивается хороший визуальный контроль за состоянием контактов, примыкающих к электродам лампы. В собранном виде эта часть грузоподъемным механизмом опускается во вторую, стационарную часть и производится окончательная сборка каскада.

**В предвыходном каскаде** используется тетрод ГУ-92А также по схеме с общей сеткой. Возбуждение для каскада поступает от полупроводникового усилителя с максимальной мощностью до 500 Вт. Возбуждение подается по гибкому коаксиальному кабелю РК50-9-12. Каскад снабжен механизмом подстройки его резонансной частоты и имеет возможность подстройки связи каскада с нагрузкой – с входной цепью выходного каскада генератора. Оба регулировочных элемента управляются вручную.

**Полупроводниковый усилитель** служит для возбуждения промежуточного лампового каскада. Усилитель двухкаскадный, в обоих каскадах используется двухтактная схема. Первая ступень усиления собрана на отечественных полевых транзисторах КП923А, в выходном каскаде используется двоярный полевой транзистор IXZ2210N50L фирмы IXYS Semiconductor. При максимальной входной мощности сигнала 3 Вт на частоте 100 МГц мощность на выходе усилителя на нагрузке 50 ом – 500 Вт. Возбуждение на вход усилителя приходит от регулируемого усилителя из шкафа управления, где размещается корзина для электроники управления ВЧ напряжением резонатора. Охлаждение полупроводникового усилителя водяное.

**Источники питания** управляющих сеток, накала ламп, электронные блоки системы включения, блокировок, защиты, контроля работы (УБС) и управления ВЧ возбуждением генератора размещены в шкафу, установленном рядом с ламповыми каскадами. Схема УБС реализована на программируемой логике и имеет возможность дистанционного управления и контроля. Источник высоковольтного питания подает напряжение на аноды и экранные сетки усилительных электронных ламп (тетродов) высокочастотного генератора и обеспечивает быстрое снятие напряжения с тетродов при пробоях в лампах и контурах ВЧ генератора.

**Параметры высоковольтного источника питания:**

Предельные величины		ГУ-101 анод	ГУ-92 анод	экранные сетки
Выходное напряжение холостого хода	В	14000	7000	1200
Номинальное напряжение	В	12600	6000	1120
Наибольшее среднее значение выходного тока	А	28	4	2
Наибольшее действующее значение пульсаций выходного напряжения	%	1	2	0,5

Анодный выпрямитель представляет собой регулируемый высоковольтный источник напряжения, управляемый по входу регулятором на тиристорах и работающий на сетевой частоте. Регулируемое напряжение поступает на вход повышающего трансформатора. С выхода трансформатора высокое напряжение поступает на диодный выпрямитель, собранный по схеме Ларионова. Сетевые пульсации выпрямленного напряжения фильтруются LC-фильтрами. К фильтру источника 14 кВ подключена последовательная RC-цепочка, подавляющая раскачку фильтра на резонансной частоте 30 Гц.

Для предотвращения разрушения генераторных ламп при пробоях анодный выпрямитель 14 кВ снабжен защитой, снимающей напряжение с анода лампы за время менее 50 мксек. Источники питания анодов и экранных сеток обеих ламп размещены в четырёх шкафах, механически связанных между собой для обеспечения воздушного охлаждения от встроенного вентилятора. Анодный трансформатор ТСГЛ 400 – силовой сухой трёхфазный трансформатор с геафолевой литой изоляцией, установлен внутри этих шкафов.

Генератор питается от трехфазной сети 380 В, 50 Гц. При максимальной выходной мощности потребление составляет 400 кВт, ток каждой фазы – 600А. Охлаждение анодного источника питания осуществляется от встроенного вентилятора, тепловыделение - около 9 кВт при выходной мощности 400 кВт. Габаритные размеры источника питания (Ш×Г×В): 3300×800×2100 мм. Масса - около 3000 кг.

**Система управления ВЧ** стабилизирует амплитуду ускоряющего напряжения резонатора, перестраивает задающий генератор системы так, чтобы резонатор был настроен в резонанс и обеспечивает безопасный режим работы генератора с помощью блокировок и защит. Для стабилизации амплитуды ВЧ напряжения резонатора имеется цепь обратной связи. Сигнал с измерительной петли резонатора Урез. (рисунок 2) поступает на амплитудный детектор модулятора. Выпрямленное напряжение сравнивается в модуляторе с внешним постоянным опорным напряжением. Усиленный сигнал ошибки управляет усилением регулируемого усилителя. Параметры усилителя сигнала ошибки и цепи обратной связи выбраны так, чтобы обеспечить относительную стабильность амплитуды ускоряющего напряжения резонатора не хуже 0,1%.

Второй амплитудный детектор преобразует ВЧ сигнал первого фидера от датчика тока петли ввода мощности резонатора, установленного в фидерной линии, в постоянное напряжение. Это напряжение используется в модуляторе, если по какой-либо причине резонатор расстраивается. При этом увеличение тока петли ввода мощности и мощности ВЧ генератора ограничивается модулятором на безопасном уровне.

Вторая цепь обратной связи управляет частотой задающего генератора системы (возбудитель 50 МГц). Для этого сигналы с измерительной петли резонатора вместе с сигналом, пропорциональным току петли резонатора, поступают на вход фазометра 100 МГц. Выход фазометра управляет входом электронной перестройки частоты возбудителя таким образом, чтобы резонатор был настроен в резонанс. Ошибка подстройки резонатора не превышает 5% от его полосы пропускания.

Предусмотрен режим работы возбудителя, при котором обратная связь разрывается и частоту возбудителя можно перестраивать вручную с передней панели блока или от внешнего пульта управления.

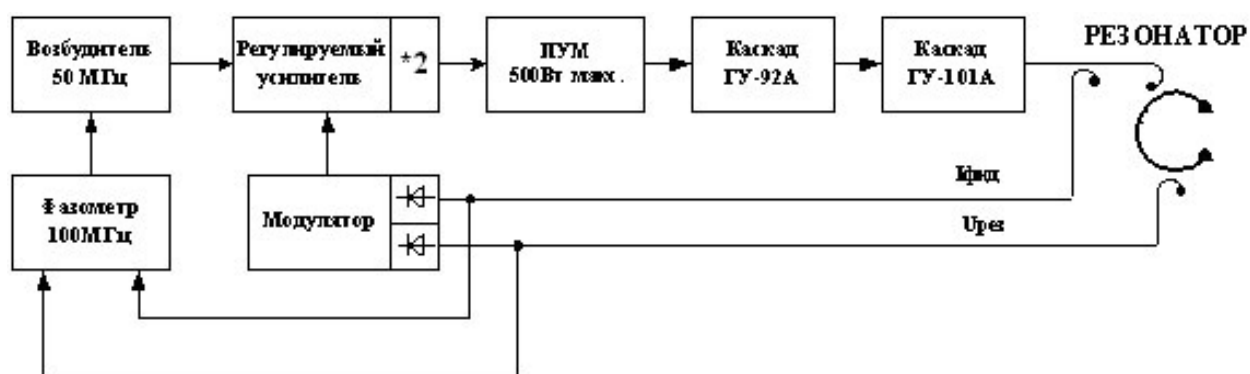


Рис. (7.4)2. Блок-схема ВЧ системы управления.

Для испытаний генератора был собран стенд, включающий все элементы, предназначенные для поставки. Выходной каскад генератора был соединен с эквивалентом нагрузки, рассеивающей мощность 200 кВт и КСВ, равном 1.33 на частоте 100 МГц. Измерения параметров при мощности в нагрузке 180 кВт проведены на частоте 100 МГц.

#### Параметры испытания выходного каскада в режиме близком к критическому.

№	Параметр	ед. измер.	Значение
1	ВЧ мощность в нагрузке	кВт	181
2	ВЧ мощность падающей волны (показания НО на выходе)	Вт	1,85
3	ВЧ мощность отраженной волны (показания НО на выходе)	Вт	0,038
4	ВЧ мощность на входе	кВт	4,5
5	Напряжение анода	кВ	+12,5
6	Ток анода	А	22,5
7	Напряжение сетки 2	В	+1100
8	Ток сетки 2	А	0,9
9	Напряжение сетки 1	В	-290
10	Ток сетки 1	А	0,3
11	Напряжение накала	В	12,8
12	Ток накала	А	594
13	Расход воды для охлаждения анода	л/мин	170
14	Давление воды в напорном патрубке	атм.	2,2
15	Давление воды в сливном патрубке	атм.	0,5

После успешного завершения испытаний в июле 2010 года изготовленное оборудование было отправлено заказчику.

Работа выполнена по контракту с федеральным государственным предприятием «Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Экспериментальной Физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»).

В работе принимали участие:

В.С.Арбузов, Ю.А.Бирючевский, Э.И.Горникер, Е.В.Козырев, А.А.Кондаков, С.А.Крутихин, Г.Я.Куркин, С.В.Мотыгин, В.Н.Осипов, Г.В.Сердобинцев, К.Н.Чернов.

## 7.5 Изготовление и настройка элементов ускоряющей структуры для модульного промышленного линейного ускорителя электронов 10 МэВ, 100 кВт

Были продолжены работы в рамках реализации проекта комплекса для стерилизации медицинских изделий и деконтаминации опасных больничных отходов на основе ускорителя ИЛУ-14. После изготовления элементов ускоряющей структуры была проведена серия холодных измерений для настройки ячеек структуры на рабочую частоту. Для измерения парциальных частот ячеек отдельные секции структуры монтировались на специальном стенде в вертикальном положении, измерение парциальной частоты ячейки проводилось после закорачивания апертур соседних резонаторов специально изготовленными медными цилиндрами. Результаты измерений показали, что парциальные частоты ускоряющих ячеек лежат в пределах допустимой точности непосредственно после изготовления и в подстройке не нуждаются. Чашки резонаторов связи протачивались в соответствии с чувствительностью парциальной частоты к геометрическим размерам ячейки, полученной в результате численного моделирования, после чего проводились контрольные измерения в вертикальном положении. После настройки всех ячеек связи ускоряющая структура была собрана целиком в горизонтальном положении. Результаты измерения распределения амплитуд ускоряющего поля в ускоряющих ячейках методом протягивания малого возмущающего тела вдоль оси структуры показали достаточную однородность в пределах 10%.



Рис. (7.5)1. Секция ускоряющей структуры в вертикальном положении.

Источник электронов представляет собой триодную электронную ВЧ-пушку, состоящую из катодно-сеточного узла, размещаемого в зазоре первого ускоряющего резонатора УС, и резонансной системы, служащей для подачи дополнительного ВЧ напряжения на зазор сетка-катод. Резонатор был настроен на рабочую частоту  $176,2 \pm 0,2$  МГц с помощью элементов подстройки и шунтирован внешней нагрузкой до величины нагруженной добротности 15, что необходимо для увеличения широкополосности устройства.





Рис. (7.5)2 . Вид на ячейку связи.



Рис.(7.5)3. Вид на ускоряющую ячейку во время сборки структуры.

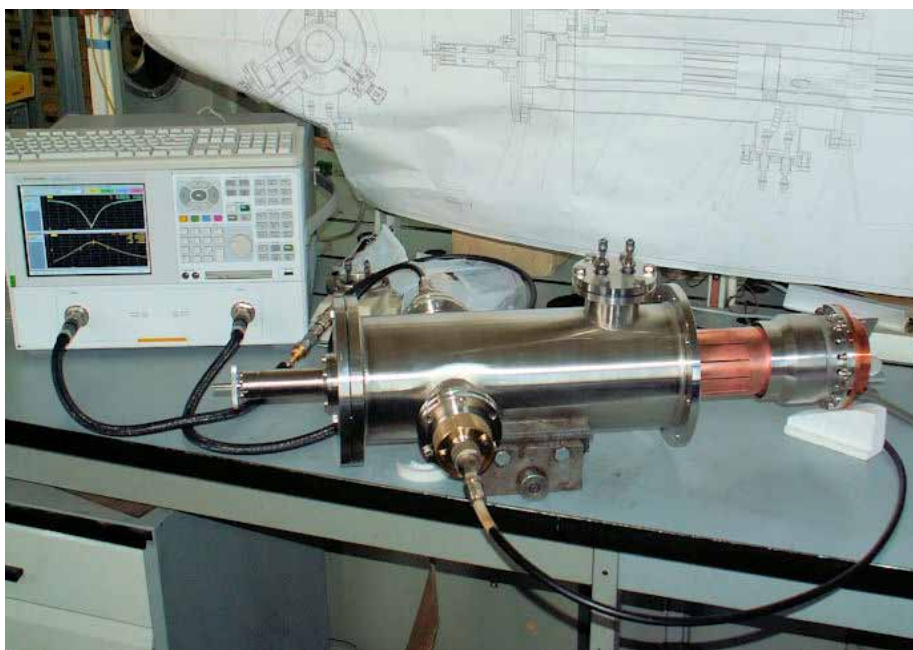


Рис. (7.5)4. Источник электронов на измерительном стенде.

ВЧ мощность подается в ускоряющую структуру через четыре коаксиальных ввода мощности. В режиме работы с пучком потери мощности на отражение не должны превышать 4% (коэффициент отражения - не выше 0,2). Согласование вводов мощности осуществляется по специальной методике, когда отдельный ввод согласуется со структурой без пучка до получения КСВН в питающем фидере не выше 1,2. Это обеспечивает необходимое согласование вводов мощности при работе ускорителя с электронным пучком. Регулировка коэффициента связи осуществляется путем поворота элемента связи - петли.



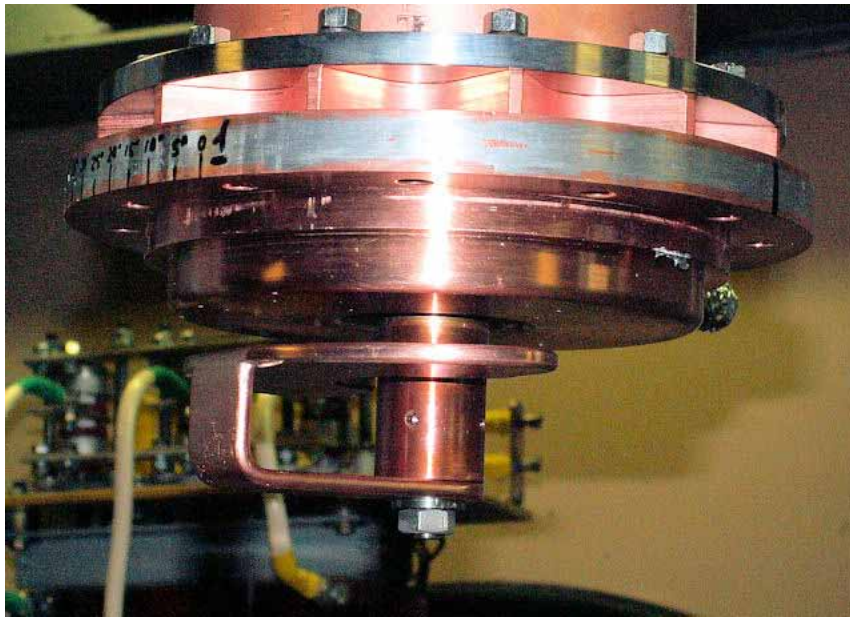


Рис. (7.5)5. Петля связи ввода мощности.



Рис. (7.5)6. Ускоряющая структура после настройки вводов мощности.

В настоящее время на ускорителе ведутся работы по получению проектных параметров электронного пучка.

В работах принимали участие :

И.Г. Макаров, Г.Н. Острейко, А.Д. Панфилов, Г.В. Сердобинцев, В.В. Тарнецкий, М.А. Тиунов, К.Н. Чернов.

## 7.6 Проект ВЧ генератора на частоту 100 МГц с выходной мощностью 540 кВт в непрерывном режиме

### Высокочастотный тракт генератора

В течение нескольких лет в ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров), проводится работа по проектированию и созданию мощного резонансного ускорителя электронов с широким диапазоном выходной энергии электронного пучка от 1 до 8 МэВ со средней мощностью до 300 кВт. По договору с «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в ИЯФ разработан проект ВЧ генератора с выходной мощностью 540 кВт в непрерывном режиме на частоту 100 МГц.

В виду отсутствия в РФ генерирующих приборов мощностью более 200 кВт в непрерывном режиме на частоте 100 МГц, требуемая мощность 540 кВт может быть получена только путем сложения мощностей нескольких генераторных ламп.

Схема сложения мощностей, предлагаемая в данной работе, применена в ИЯФ СО РАН при разработке генераторов на частоту 180 МГц для ускорителя лазера на свободных электронах. Сложение мощностей трех ламповых модулей осуществляется путем непосредственного присоединения их к выходной линии связи в сечениях этой линии, отстоящих друг от друга на расстоянии, кратном половине длины волны. Каждый генераторный модуль должен обеспечивать выходную мощность 180 кВт.

Для сложения мощностей и получения максимального КПД каждой лампы необходимо правильно сбалансировать амплитуды и фазы токов возбуждения выходных генераторных модулей.

В качестве основы для разработки лампового модуля применен разработанный в ИЯФ и испытанный при выходной мощности 180 кВт на частоте 100 МГц каскад усиления мощности на лампе ГУ101А, являющийся выходным каскадом ВЧ генератора, поставленного в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров в июле 2010 года.

Каждый генератор 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 одном тетроре ГУ-92А. Выходная мощность этого каскада 12 кВт возбуждает выходной модуль генератора, в котором применен один тетрод ГУ-101А.

Для получения мощности 540 кВт в выходном каскаде устанавливается три одинаковых ламповых модуля ГУ-101А, модуль настройки резонансной частоты анодного контура и модуль регулировки связи с нагрузкой.

Места подключения модулей к линии связи расположены на расстоянии равном половине длины волны в этой линии. Для обеспечения сложения мощностей модулей средний модуль должен возбуждать линию в противофазе к крайним. В этой схеме напряжения и токи в сечениях включения модулей (а, следовательно, и нагрузки источников токов) всегда равны друг другу, независимо от величины нагрузки. Поэтому одинаковы и мощности, отдаваемые каждым источником тока.

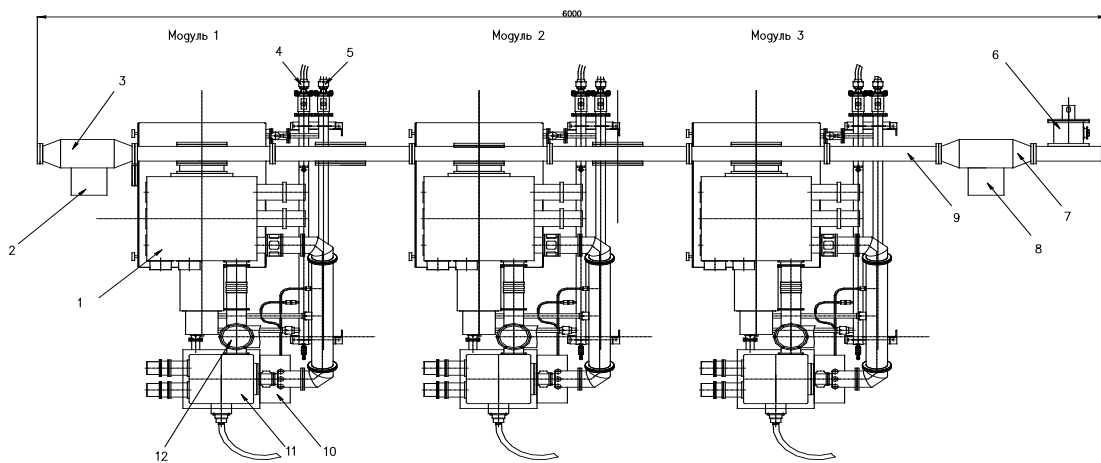
Возбуждение входных контуров каждого лампового модуля независимое, от отдельных предварительных каскадов.

Оптимальный баланс фаз и амплитуд возбуждающих напряжений достигается с помощью системы управления амплитудой и фазой сигналов на входах генераторов.

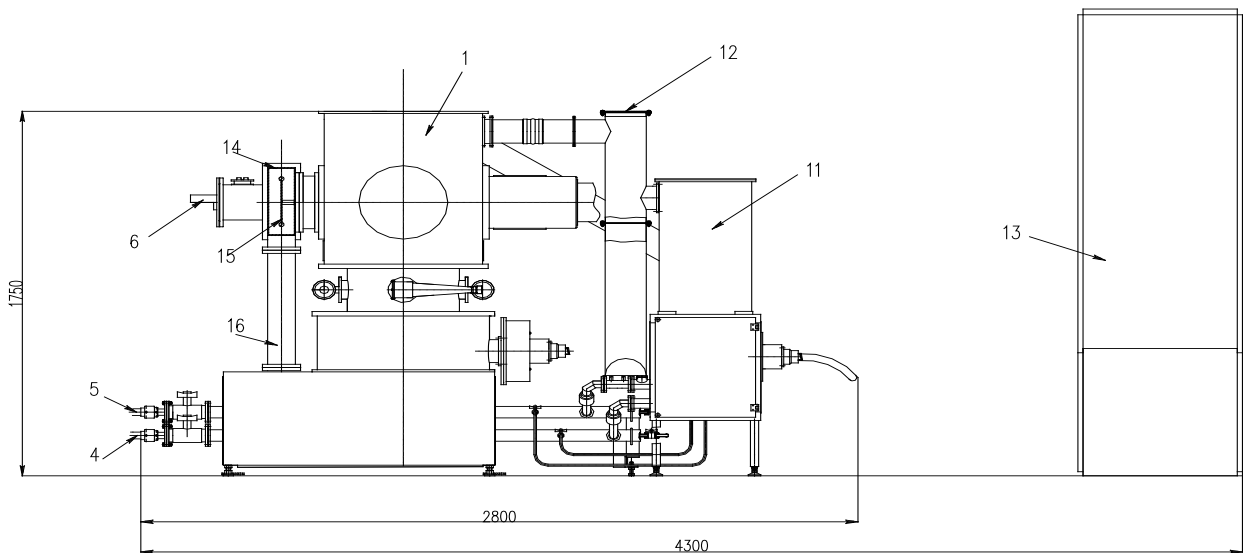
В диапазоне частот  $100 \pm 1$  МГц система не требует каких-либо перестроек, кроме настройки в резонанс общего для трех ламп анодного контура.

Связь с нагрузкой регулируется путем изменения волнового сопротивления  $\frac{1}{4}$  волнового участка линии на выходе генератора.

Входной контур модуля оперативной настройки не требует. Входные контура ламповых модулей в данном исполнении не объединены. Каждый модуль возбуждается от отдельного канала, который состоит из усилителя на лампе ГУ92А и полупроводникового усилителя. Все каскады собраны по схеме с общими сетками. Обе лампы требуют принудительное водяное и воздушное охлаждение. Принудительное воздушное охлаждение требуется также для суммирующей линии выходного каскада. Общий вид генератора показан на рис.(7.6) 1 (А, Б).



А)



Б)

Рис. (7.6)1. А) ВЧ генератор 540 кВт. Вид сверху. 1 - Выходной модуль генератора с лампой ГУ-101А; 2, 3 – узел настройки; 4, 5 – входы водяного охлаждения; 6 - Коаксиальный выход ВЧ мощности; 7, 8 – четвертьволновый трансформатор с переменным волновым сопротивлением; 9 - четвертьволновый трансформатор с волновым сопротивлением 30 Ом; 10, 11 – каскад усиления ВЧ мощности с тетродом ГУ-92А; 12 - Вход воздушного охлаждения ламповых каскадов генератора.

Б) ВЧ генератор 540 МГц. Вид сбоку. 4, 5 – входы водяного охлаждения; 6 – коаксиальный выход ВЧ мощности; 11 - каскад усиления ВЧ мощности с тетродом ГУ-92А; 13 – шкаф низковольтных источников питания и управления; 14 – суммирующая линия связи; 15 – центральный проводник суммирующей линии связи; 16 – индуктивный шлейф.

Каждый ламповый модуль на тетроре ГУ101А обеспечивает получение мощности до 200 кВт в нагрузке при работе в составе выходного каскада из 3-х модулей. Система регулировки связи трехмодульного каскада с нагрузкой позволяет получить мощность 540 кВт при КСВН не более 1,3 в диапазоне частот 99 – 101 МГц. Выход генератора рассчитан на подключение жесткого медного коаксиального фидера с волновым сопротивлением 50 Ом с диаметрами внутреннего и внешнего проводников соответственно 70 мм и 160 мм.

### Система питания генератора

Каждый из трех каналов генератора имеет свой источник питания. Источник питания канала генератора размещен в двух шкафах:

- а. Шкаф низковольтных источников питания (накала, сеток ламп и ПУ) и управления.
- б. Источник высоковольтного питания анодов +14 кВ.

В шкафу низковольтных источников питания и управления размещены источники питания накалов тетродов, выпрямитель смещения для управляющих сеток тетродов и блок управления генератора со схемой). Тип шкафа – ЕВРОМЕХАНИКА, размер - 600×800×2100 мм. Шкаф управления и низковольтных источников устанавливается вблизи каскадов ВЧ генератора.

Источник высоковольтного питания подает напряжение на аноды и экранные сетки усилительных электронных ламп (тетродов) высокочастотного генератора и обеспечивает плавный подъём при включении, быстрое отключение напряжения с тетродов 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 сетевой частоте. Регулируемое напряжение поступает на вход повышающего трансформатора с габаритной мощностью 400 кВт. Трансформатор – промышленный, трёхфазный, сухой типа ТСГЛ с естественным воздушным охлаждением. Напряжение высоковольтной обмотки (линейное) - 10000 В, напряжение низковольтной обмотки (линейное) - 380 В.

С выхода трансформатора высокое напряжение поступает на диодный выпрямитель, собранный по схеме Ларионова. Напряжение питания анода первого лампового каскада снимается с общей точки вторичной обмотки трансформатора.

На выходе источника 14 кВ установлена схема быстрой защиты генераторной лампы ГУ101А при пробоях и перегрузках. Время срабатывания быстрой защиты - менее 50 мксек.

Источник питания экранных сеток нерегулируемый, трансформатор трёхфазный, сухой типа ТС, с естественным воздушным охлаждением, габаритная мощность - 2,5 кВА.

Охлаждение анодного источника питания - от встроенного вентилятора, тепловыделение ~ 9 кВт при выходной мощности 400 кВт.

Габаритные размеры источника питания (Ш×Г×В) 3300×800×2100 мм. Масса ~ 3000 кг.

Система управления мощностью ВЧ генератора.

Система управления обеспечивает необходимые параметры высокочастотного напряжения на ускоряющем резонаторе и защиту генератора от перегрузок и аварийных ситуаций.

Требования к ВЧ системе:

1. Нестабильность амплитуды ускоряющего напряжения резонатора - не более  $\pm 0,1\%$ .
2. Регулировка уровня выходной мощности – в пределах 0...100%.
3. Основной режим работы генератора – непрерывный.
4. Фазирование высокочастотных токов выходных ламп с точностью не хуже  $\pm 5$  град. на частоте 100 МГц и выравнивание их амплитуд.
5. В качестве задающего генератора используется возбудитель, обеспечивающий перестройку частоты в рабочем диапазоне частот резонатора. В рабочем режиме осуществляется подстройка частоты возбудителя по собственной частоте резонатора. Ошибка подстройки не должна превышать  $\pm 0,05$  полосы резонатора.

Блок-схема ВЧ системы показана на рис.(7.6)2. Система состоит из трех независимых между собою каналов регулирования и усиления мощности, устроенных одинаковым образом. ВЧ мощность с выходных каскадов каналов складывается в ВЧ сумматоре. ВЧ сумматор подключен к ускоряющему резонатору.

Сигнал на вход предусилителя и далее на мощные каскады в каждом канале проходит через круговой электронный фазовращатель (ФВР1) и регулируемый усилитель высокочастотного сигнала (РУ). Коэффициент усиления РУ регулируется постоянным напряжением.



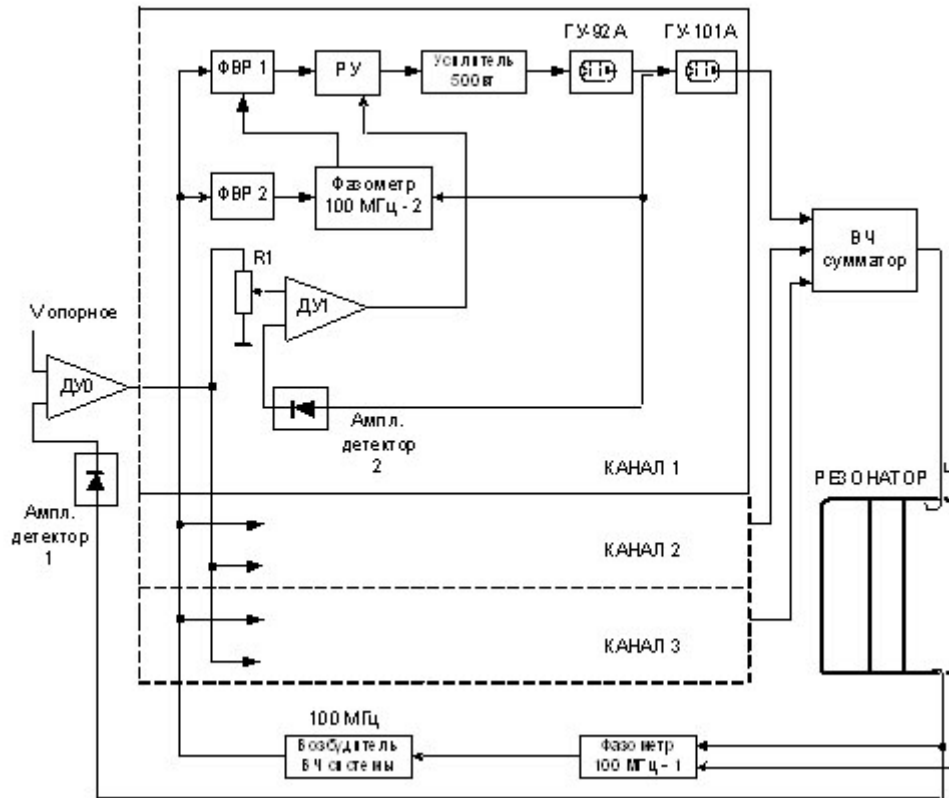


Рис.(7.6)2. Блок – схема системы управления ВЧ.

Имеется две общих внешних цепи обратной связи. Одна из них регулирует частоту возбудителя 100 МГц – задающего генератора ВЧ – системы таким образом, чтобы резонатор был всегда настроен в резонанс. Для этого ВЧ сигналы с датчика амплитуды ускоряющего напряжения и датчика тока петли резонатора подаются на вход "1" фазометра 100 МГц. Выход фазометра управляет частотой возбудителя.

Вторая цепь обратной связи стабилизирует амплитуду ускоряющего напряжения резонатора. Для этого напряжение ВЧ сигнала с измерительной петли резонатора поступает на Амплитудный детектор 1. Выходное постоянное напряжение сравнивается с опорным с помощью дифференциального усилителя ДУ0. Сигнал ошибки с выхода ДУ0 является общим опорным сигналом для внутренних цепей обратной связи, регулирующих амплитуду возбуждения выходных каскадов усиления ВЧ мощности.

В каждой из внутренних цепей обратной связи имеется амплитудный детектор (Амплитудный детектор 2 для первого канала), вырабатывающий напряжение, пропорциональное амплитуде ВЧ напряжения в катодной цепи выходной лампы. Это напряжение сравнивается с внутренним опорным с выхода ДУ0 с помощью дифференциального усилителя ДУ1. Выходной сигнал ДУ1 управляет регулируемым усилителем РУ. Регулировочное сопротивление R1 (для первого канала) служит для выравнивания режимов работы выходных каскадов, учитывая разность усилительных параметров ламп и разность коэффициентов связи датчиков напряжения сигнала в катодной цепи ламп.

В каждом канале имеется вторая цепь обратной связи, регулирующая фазу ВЧ напряжения в катодной цепи выходной лампы. Для этого сигнал с датчика ВЧ напряжения на входе ГУ-101А подается также на вход "2" фазометра 100 МГц. На второй вход этого фазометра приходит общее опорное ВЧ напряжение от возбудителя 100 МГц. Выход фазометра управляет круговым электронным фазовращателем ФВР1 (для первого канала). Таким образом обеспечивается жесткая привязка фазы ВЧ напряжения на каждом входе ГУ-101А к опорному напряжению.

Для начальной установки фазы напряжения на входе ГУ-101А служит фазовращатель ФВР2, выполненный на переключаемых полосковых линиях, управляемых вручную. Фазовращатель будет установлен так, чтобы обеспечить одинаковые фазы ВЧ токов выходных ламп по отношению к опорному ВЧ напряжению и, следовательно, между собою.



Система управления имеет схемы блокировок и защиты ВЧ генератора и резонатора в нестандартных ситуациях.

Быстродействующие защиты срабатывают при превышении напряжением резонатора и током фидера пороговых значений. В этом случае снимается возбуждение с входов предусилителей каналов ВЧ генератора. Быстродействие каналов – порядка 100 мксек.

Работу выполнили В.С.Арбузов, Э.И.Горникер, Е.В.Козырев, С.А.Крутихин, Г.Я.Куркин, В.Н.Осипов, А.М.Пилан, Г.Н.Сердобинцев, К.Н.Чернов.

## 7.7 Модернизация ВЧ генераторов непрерывной мощности для ЛСЭ

Для возбуждения ВЧ резонаторов микротрона-рекуператора ЛСЭ ИЯФ СО РАН разработаны и изготовлены генераторы непрерывной мощности до 600 кВт на частоту 181 МГц. Необходимая выходная мощность генератора получена сложением мощностей, генерируемых четырьмя лампами в выходном каскаде. Принцип построения таких многоламповых выходных каскадов генераторов приведен в прошлых выпусках годовых отчетов. В настоящее время в этих генераторах применены мощные тетроды УКВ диапазона ГУ101А. Общее число ламп ГУ101А, установленных в генераторах ЛСЭ – 12. Опыт эксплуатации генераторов показал, что при мощности, генерируемой одной лампой, менее 120 кВт, срок службы лампы при пониженном напряжении накала (до 12,6 В), более 4000 часов. В тоже время с увеличением ВЧ мощности, снимаемой с лампы, до 120 – 150 кВт срок службы уменьшается до 1000 часов, а в отдельных случаях и до меньшей величины. Во время разработки ламп ГУ101А предполагалось, что в дальнейшем для увеличения срока службы ламп в генераторах они будут заменены на лампы с пирографитовыми сетками ГУ105А, срок службы которых в несколько раз больше. Однако в России работы по производству пирографитовых сеток были остановлены. Поэтому в ИЯФ было принято решение разработать и изготовить ВЧ генераторы на лампах с пирографитовыми сетками ТН781, выпускаемых фирмой THALES (Франция). Гарантийный срок службы у этих ламп 3500 часов. Производитель ламп полагает, что на частоте 180 МГц при выходной мощности до 150 кВт при пониженном напряжении накала срок службы ламп составит не менее 7000 часов.

Таблица (7.7)1. Основные параметры лампы ТН781 и, для сравнения, ГУ101А.

Параметры	ТН781	ГУ101А	Ед.
Мощность рассеяния на аноде	250	250	кВт
Мощность рассеяния на экранной сетке	4	3	кВт
Мощность рассеяния на управляющей сетке	1,5	1,5	кВт
Анодное напряжение	22	14	кВ
Анодное напряжение при работе на частоте 180 – 200 МГц	10	8	кВ
Напряжение экранной сетки	1800	1200	В
Напряжение управляющей сетки	- 800	- 600	В
Ток анода в импульсе	140	100	А
Напряжение накала	10	15	В
Ток накала	340	660	А
Крутизна	0,12	0,2	А/В
Емкость анод-сетка 2	54	108	пФ
Емкость катод-сетка 1	230	350	пФ
Емкость сетка1-сетка 2	270	400	пФ
Емкость анод-катод	0,32	1,1	пФ
Емкость анод-сетка 1	2,2	12	пФ
Емкость катод-сетка 2	14	28	пФ
Максимальный диаметр	168	295	мм
Максимальная длина	425	525	мм

Из таблицы видно, что у ТН781 примерно в 2 раза меньше диаметр и междуэлектродные емкости. Мощность накала ТН781 меньше в 3 раза, а проходные емкости в 2-4 раза.

На основе генераторов, использующих лампы ГУ101А, была разработана конструкция, позволяющая достаточно быстро (не более чем за 40 часов) перенастроить четырехламповый генератор как на лампы ТН781, так и на совместное применение этих ламп с российскими. Найденное решение позволило минимизировать затраты на изготовление, сборку и настройку генераторов при сохранении прежних принципов сложения мощностей, настройки ВЧ системы и связи с ускоряющими резонаторами. Кроме того, совместное применение ламп разных типов позволило обеспечить непрерывную работу ЛСЭ, последовательно заменяя лампы по мере их поступления.

На рис.(7.7)1 приведен эскиз размещения ТН781 в модуле генератора. Совместная работа ламп разного типа достигнута благодаря тому, что размеры анодного контура модуля с ТН781 обеспечивают одинаковые амплитуды ВЧ напряжения на анодах ТН781 и ГУ101А.

Поскольку приобретение необходимого количества ламп занимает значительное время, необходимо обеспечить работу генератора для ЛСЭ в течение этого времени, постепенно заменяя лампы четырехлампового каскада. Поэтому были собраны и настроены несколько вариантов усилительных каскадов:

1. Одноламповый каскад с лампой ТН781 на выходную мощность 150 кВт.
2. Четырехламповый каскад с одной лампой ТН781 и тремя ГУ101А на выходную мощность 600 кВт.
3. Четырехламповый каскад с двумя лампами ТН781 и двумя ГУ101А на выходную мощность 600 кВт.
4. Четырехламповый каскад с четырьмя лампами ТН781 на выходную мощность 600 кВт.

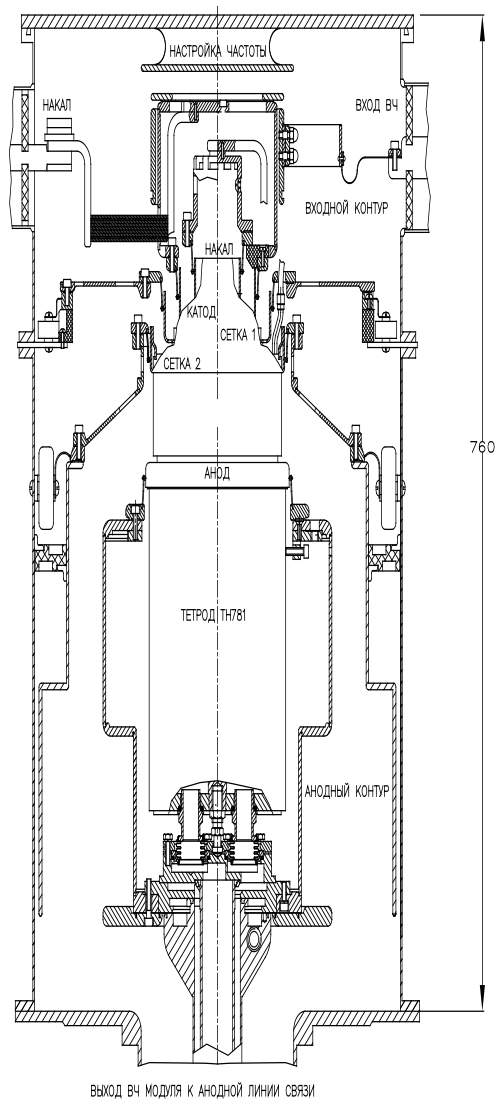


Рис.(7.7)1. Расположение тетрода ТН781 в корпусе лампового модуля генератора.

Расчет мощности, рассеиваемой на анодах ламп, проводился калориметрическим методом. Измерялись разность температур воды на выходе и входе баков охлаждения анодов ламп и расход воды.

Вариант 1, необходимый для исследования свойств каскада с одним ламповым модулем, был собран в выходном каскаде генератора, возбуждающий ускоряющий резонатор инжектора в микротроне ЛСЭ. При испытании на эквивалент нагрузки 50 Ом получена мощность 150 кВт и показано, что напряжение накала можно понизить до 8,5 В. Ток накала - 315 А. Коэффициент усиления каскада - 11 дБ при напряжении анода 7,9 кВ.

Кроме того, проведено испытание однолампового каскада, нагруженного на ускоряющий резонатор в ВЧ системе инжектора ЛСЭ. Проведена работа, обеспечивающая подавление самовозбуждения генератора во всем диапазоне перестроек каскада и изменении уровня входной мощности. Проверено, что устойчивая работа каскада на узкополосную нагрузку с полным отражением возможна без применения циркулятора.

Варианты 2 и 3 применялись в одном из генераторов и работали в ЛСЭ последовательно около года.

Четырехламповый каскад с одним ламповым модулем ТН781 и тремя модулями ГУ101А был нагружен непосредственно на волновод-делитель к 8 ускоряющим резонаторам микротрона-рекуператора. Разница величин мощностей, генерируемых модулем ТН781 и модулями ГУ101А, не превышала 10%.

Вариант 3. В четырехламповый каскад генератора были поставлены два модуля ТН781 и два модуля ГУ101А. Испытание каскада также проведено в составе ВЧ системы ЛСЭ на 8 ускоряющих резонаторах микротрона-рекуператора. При выходной мощности 500 кВт максимальная разница между мощностями, генерируемые каждым модулем, была менее 20 кВт. Дальнейшая настройка, улучшающая распределение генерируемых лампами мощностей была отложена, так как результаты работы удовлетворяли требованиям ЛСЭ.

Вариант 4 реализован в сентябре 2010 г. Все лампы в четырехламповом каскаде заменены на ТН781. В настоящее время этот генератор работает в ВЧ системе ЛСЭ и, одновременно, проводятся исследования каскада с целью выяснения его максимальной мощности, КПД и обеспечения устойчивой работы в различных режимах.

Результаты измерений и расчета параметров каскада при суммарном напряжении на резонаторах 6500 кВ приведены в таблице (7.7)2.

Таблица (7.7)2.

Параметры	1-ТН781	2-ТН781	3-ТН781	4-ТН781	Ед.
Рабочая частота	180,4				МГц
Выходная ВЧ мощность	507				кВт
Напряжение накала	8,0	8,0	8,1	8,2	В
Ток накала	325	310	312	306	В
Анодное напряжение	8,4				кВ
Напряжение экранной сетки	960				В
Напряжение управляющей сетки	- 200	- 200	- 200	- 190	В
Ток анода	23,6	23,1	22,2	20,9	А
Ток экранной сетки	0,7	0,8	0,7	0,8	А
Ток управляющей сетки	0,5	0,6	0,6	1,0	А
Мощность источника анодного питания	198	194	187	176	кВт
Мощность рассеиваемая на аноде	75	68	74	73	кВт
Мощность ВЧ, генерируемая лампой	129	132	116	106	кВт
Мощность ВЧ на входе модуля	~8	~8	~8	~8	кВт
Мощность ВЧ генерируемая лампой	137	140	124	114	кВт
Мощность ВЧ потерь в стенках	2	2	2	2	кВт
КПД лампы	69	72	66	65	%
КПД каскада(электронный)	67				%

Работу выполнили сотрудники В.С.Арбузов, Э.И.Горникер, Е.В.Козырев, А.А.Кондаков, А.М.Пилан, В.Г.Ческидов.

## 7.8 Определение параметров ВЧ системы накопителя Сибирь-2, обеспечивающих устойчивость продольного движения электронов для синфазных дипольных колебаний

В 2010 году в лаборатории была закончена научно-исследовательская работа по анализу ограничений на ток, вносимых новой ускоряющей ВЧ системой для источника синхротронного излучения «Сибирь-2» (Курчатовский институт, Москва). Эта система заработала в 2009 году. Мощности этой ВЧ системы должно хватать для ускорения тока 300 мА. В настоящее время эта величина не достигнута. Были проведены исследования, как необходимо настроить ВЧ систему, чтобы определяемые ею ограничения на ток были выше 300 мА. Показано, что параметры цепей обратной связи, стабилизирующих амплитуду (автоматическая регулировка усиления или АРУ) и фазу ускоряющих напряжений (автоподстройка фазы или АФ), и длины фидеров, по которым мощность от генераторов передается в резонаторы, существенно влияют на синфазные дипольные фазовые колебания. Определены параметры цепей обратной связи и длины фидеров, при которых не возникают синфазные дипольные колебания для токов до 300 мА во всем диапазоне энергий. Результаты работы изложены в препринте ИЯФ 2010-6.

В работе принимали участие В.М. Петров, Н.В. Митянина.

## 7.9 Статус ВЧ системы накопителя 2,2 ГэВ г. Зеленоград

ВЧ система накопителя работает на частоте 181,33 МГц и состоит из двух биметаллических резонаторов, одного питающего генератора 300 кВт с выходным каскадом на двух лампах ТН781, тракта передачи мощности и системы управления. Описание ВЧ системы приведено в отчете института за 2008 год.

В 2010 году резонаторы были доставлены в г. Зеленоград в откаченном состоянии. Были включены магниторазрядные насосы резонаторов и сразу получен вакуум  $7 \cdot 10^{-8}$  Па. Измеренные собственные добротности резонаторов составили 42600 и 42700. Эти величины добротности соответствуют измерениям, проведенным в ИЯФ.

Резонаторы установлены в промежуток накопителя (рис.(7.9) 1). Расстояние между центрами ускоряющих зазоров -  $827 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$ . Это равняется половине рабочей длины волны. Потребовалось изготовить 22-х миллиметровую вставку между резонаторами. С помощью четырех геознаков, расположенных на каждом резонаторе, проведена геодезическая выставка апертурных фланцев резонатора относительно фланцев вакуумной камеры.

На резонаторы установлены съемные узлы и механизмы перестройки частоты основной и высших мод. Полностью собрана система водяного охлаждения двух резонаторов. Все четыре коллектора резонаторов с помощью нержавеющей труб соединены с выходными запорными вентилями.

После длительного включения питания двух магниторазрядных насосов в резонаторах получен вакуум лучше, чем  $1 \cdot 10^{-8}$  Па. Это превышает требуемый по техническим условиям вакуум  $1 \cdot 10^{-7}$  Па. Вакуум в резонаторах измерялся с помощью специальной лампы, установленной в каждом резонаторе.





Рис. (7.9)1. Два ускоряющих резонатора в кольце накопителя 2,2 ГэВ.

Сотрудниками ИЯФ проведена ревизия установленных ранее в Зеленограде шкафов высоковольтного питания генератора.

Все элементы генератора, заново изготовленные в ИЯФ (ВЧ каскады, элементы волноводно-фидерного тракта и шкафы питания) были доставлены в Зеленоград. Перед отправкой была проведена контрольная сборка и холодные измерения выходных каскадов на лампе ТН781.

Также изготовлена и отправлена радиостойка системы управления с необходимым комплектом аппаратуры.

В работе принимали участие В.С.Арбузов, М.И.Власенко, А.В.Головин, В.Л.Головин, Э.И.Горникер, С.А.Крутихин, Г.Я.Куркин, И.В.Купцов, Л.А.Мироненко, В.Н.Осипов, А.М.Пилан, И.К.Седяров, В.С.Степанов, М.Ю.Фомин.

## 7.10 ВЧ система инжекторов нейтральных пучков токамака COMPASS

В 2010 году продолжались работы по контракту между ИЯФ и институтом физики плазмы (Юлих, Германия), на разработку и изготовление двух нагревных инжекторов нейтральных пучков. Ионизация газа в плазменной камере этих инжекторов происходит за счет высокочастотного разряда.

Описание ВЧ системы источников приведено в прошлогоднем отчёте. В 2010 году были изготовлены электронные блоки, каскад лампового усилителя мощности на лампе 4CW50000E и



разделительный ВЧ трансформатор.

Каскад усиления на лампе 4CW50000E являлся новой разработкой, поэтому он был испытан на устойчивость к самовозбуждению. Для этого лампа без нагрузки плазмой отпиралась до тока катода 5 А. Паразитные возбуждения не наблюдались. При нагрузке газовым разрядом получена мощность около 26 кВт. Этой мощности с хорошим запасом хватает для обеспечения требуемого тока пучка, поэтому было принято решение не поднимать её уровень до максимальных расчётных параметров.

Параметры системы:

Рабочая частота	МГц	3,8...4,2
Мощность в нагрузке	кВт	26
Длительность импульса/паузы	сек	0,3 / 900
Постоянное напряжение на «антенне»	кВ	40

Обе ВЧ системы были смонтированы и настроены в составе инжекторов нейтральных пучков. Получены пучки атомов водорода и дейтерия с энергией 40 кэВ и током 12А. Заказчику были продемонстрированы проектные параметры пучков.

В работе принимали участие Кондаков А.А., Кондакова Н.Л., Крутихин С.А., Мотыгин С.В., Осипов В.Н

## 7.11 Новая ВЧ система для электрон-позитронного накопителя БЭП

Одним из этапов модернизации БЭП является замена существующей ВЧ системы, работающей на второй гармонике частоты обращения на новую. Необходимо изготовить новый ускоряющий резонатор, питающий его генератор ВЧ мощности и изменить систему управления.

Основные требования к новому резонатору БЭП: рабочая частота – тринадцатая гармоника частоты обращения БЭП – 174,4 МГц, рабочее ускоряющее напряжение порядка 110 кВ, максимальная передаваемая в пучок ВЧ мощность - около 14 кВт. Габариты нового резонатора не должны превышать размеры существующего. В 2010 году проведены работы по конструированию этого резонатора.

Резонатор имеет цилиндрический корпус, состоящий из медной обечайки и биметаллических (медь-нержавейка) стенок (рис.(7.11) 1 поз.1). Биметаллическая конструкция стенок повышает их жесткость и уменьшает влияние на геометрию резонатора атмосферного давления. По центру стенок симметрично расположены коаксиальные вставки (поз.2). Такая конструкция позволяет понизить частоту рабочей моды и уменьшить количество высших мод (ВМ) резонатора, тем самым уменьшив их влияние на пучок. Симметричность и малые размеры ускоряющего зазора вносят дополнительное уменьшение влияния для ВМ с нечетным числом вариаций вдоль оси резонатора. Области соединения коаксиальных вставок со стенками имеют радиусы скругления – это сделано для снижения вероятности возникновения в этих местах мультитакторного разряда. Частота резонатора перестраивается двумя плунжерами, связанными с механизмами перестройки (поз. 4). Кроме этого в конструкции предусмотрена возможность перестройки частот ВМ при заданной рабочей частоте. Для этого используются механизмы перестройки ВМ (поз. 5).

Ввод мощности (поз. 3) рассчитан на передачу в резонатор около 20 кВт ВЧ мощности. Параметры петли ввода мощности рассчитаны так, чтобы при расчетной нагрузке пучком входное сопротивление в плоскости соединительного фланца было равно 75 Ом.

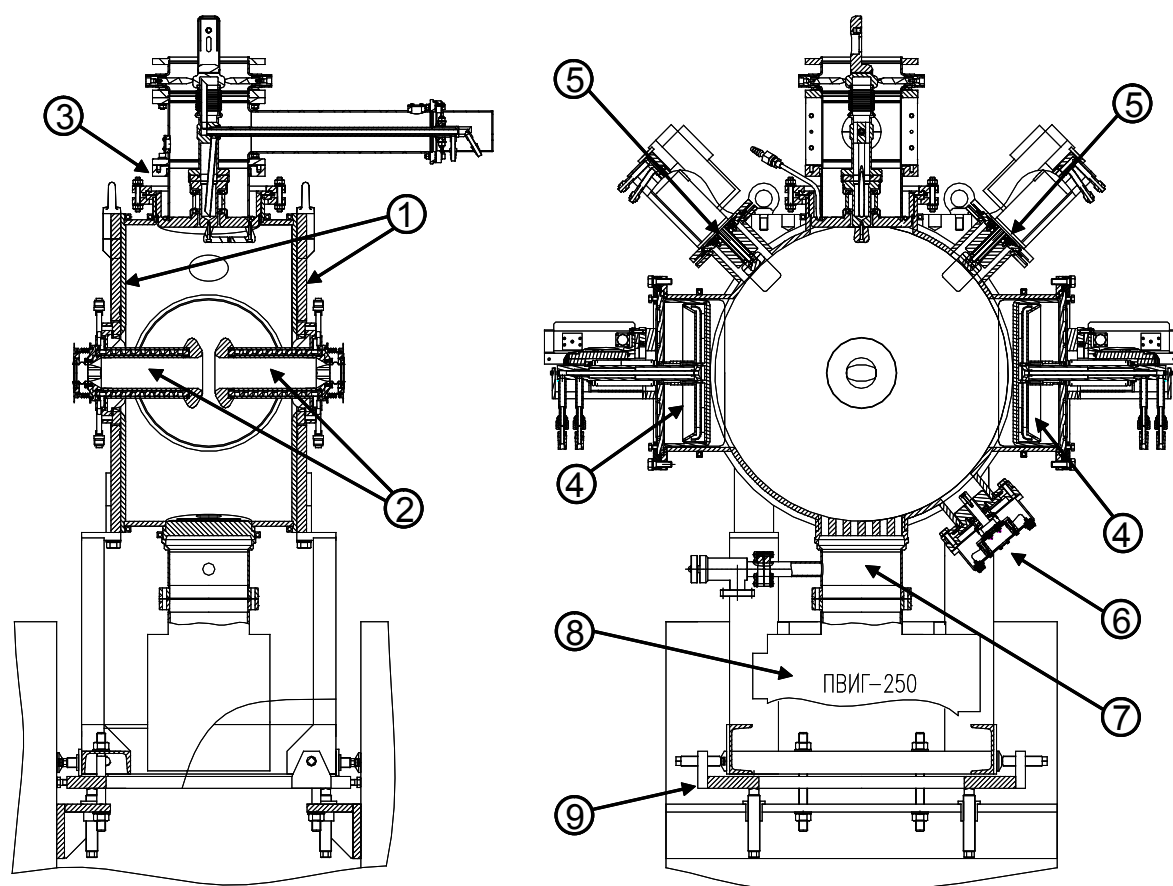


Рис. (7.11)1. Конструкция резонатора: 1 - биметаллические стенки, 2 - коаксиальные вставки, 3 - ввод мощности, 4 - механизмы перестройки частоты, 5 - механизмы перестройки высших мод, 6 - измерительная петля, 7 - порт вакуумной откачки, 8 - вакуумный насос, 9 - подставка.

Таблица (7.11)1: Параметры резонатора БЭП

Параметр	БЭП
Частота обращения, МГц	13,4135
Номер гармоники	13
Рабочая частота, МГц	174,3755
Перестройка частоты, кГц	$\pm 130$
$R\tau^2_{cavity}$ , МОм	1,4
Ток пучка, А	0,2
Число сгустков	1
Энергия пучка, ГэВ	1000
Потери энергии на оборот, кэВ	69,2
Ускоряющее напряжение, кВ	112
Длина пучка ( $\sigma_z$ ), мм	45,5
Мощность в пучок, кВт	13,8
Потери мощности в резонаторе, кВт	4,5
Общая мощность, кВт	18,3

На настоящий момент времени выполнена полная конструкторская проработка резонатора. Ввод мощности и корпус резонатора сданы в производство.

## 7.12 Подготовка ВЧ системы накопителя ВЭПП-4М для работы на энергии 4 ГэВ

В настоящее время накопитель ВЭПП-4М работает на низкой энергии 1,5-2 ГэВ. В кольце установлено 4 резонатора, подключенных к генератору через волноводный делитель мощности. Используется режим: два резонатора отстроены по частоте вниз, а суммарное напряжение 600 кВ поддерживалось только на двух резонаторах. Выходной каскад генератора выполнен на 2 лампах ГУ101А. Работает одна лампа. От второй лампы отключен накал.

Для работы на 4 ГэВ необходимое суммарное напряжение на резонаторах составляет 1,6 МэВ, при этом потребляемая резонаторами мощность 32 кВт. Потери энергии электронов при 4 ГэВ составляют 710 кэВ на оборот. Мощность, потребляемая пучком при токе 15 мА – 11 кВт.

В процессе подготовки ВЧ системы накопителя для работы на энергии 4 ГэВ был испытан режим 2 МВ суммарного напряжения на четырёх резонаторах, мощность от генератора при этом 50 кВт. Подстройкой передаточной характеристики волноводного тракта при отсутствии пучка установлена связь генератора с волноводом, обеспечивающая нормальный режим работы выходной лампы. В таком режиме генератор может работать как на энергии 4 ГэВ, так и на низкой энергии без дополнительной подстройки. При подключении второй лампы максимальная выходная мощность генератора может быть увеличена до 200 кВт.

В ходе профилактики был заменён узел “плунжер для отстройки высших мод” в связи с течью в этом узле и с ухудшением вакуума в резонаторе. Резонатор откачен, и в нём без прогрева получен вакуум  $10^{-8}$  Торр. По мере дальнейшей откачки наблюдается улучшение вакуума.

Проведена ревизия системы охлаждения, устранены мелкие неисправности. Предполагается возможность работы на 4 ГэВ без перекоммутации воды и сохранения системы её термостабилизации.

Проведена перекалибровка напряжения резонаторов на резонаторах ВЭПП-4 по частоте синхронных колебаний пучка, с точностью не хуже 1%. Приведены в соответствие с калибровкой показания на всех информационных устройствах.

В ЭП-1 продолжают работы по доработке одного из резонаторов для ВЭПП-4.

В работе принимали участие Арбузов В.С., Горникер Э.И., Купцов И.В., Куркин Г.Я., Седяров И.К., Гуров С.Д., Ерохов В.Н., Карнаев С.Е., Киселёв В.А., Мироненко Л.А..

## 7.13 Ускоряющие структуры CCDTL для Linac4, CERN

В 2010 году продолжались работы по изготовлению ускоряющих структур для линейного ускорителя Linac4 – нового инжектора LHC, CERN. ИЯФ СО РАН совместно с РФЯЦ-ВНИИТФ (Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский институт технической физики. г. Снежинск) должен изготовить 7 ускоряющих модулей CCDTL (Coupled Cavity DTL, линейный ускоритель с трубками дрейфа и ячейками связи) на частоту 352 МГц для ускорения ионов Н- в диапазоне энергий 50-100 МэВ (см. Рис. (7.13)1 и (7.13)2).

В 2010 году был выпущен комплект рабочих чертежей на пролетные трубки, проведена технологическая проработка, изготовлена оснастка, изготовлены опытные образцы (Рис.(7.13)2 и (7.13)3). Одним из сложных технологических моментов изготовления является электронно-лучевая сварка (ЭЛС) штанги подвески и корпуса трубки дрейфа. Для точного наведения на стык была модернизирована система прицеливания установки ЭЛС экспериментального производства ИЯФ. Перед сваркой рабочим током производится сканирование поперек стыка электронным лучом с малым током. При этом измеряется обратный ток. Стыку соответствует минимум обратного тока. Были разработаны соответствующие аппаратура и программное обеспечение. Отработка на образцах показала, что новая система обеспечивает точность прицеливания не хуже 0,2 мм.

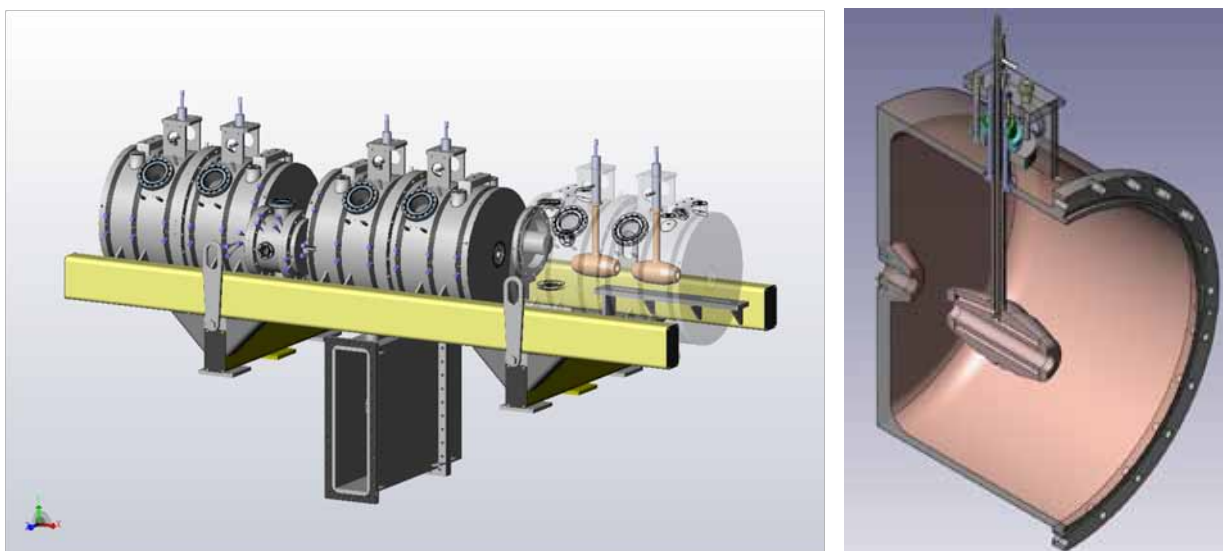


Рис. (7.13)1. Слева - ускоряющий модуль CCDTL. Справа - половина ускоряющего резонатора CCDTL с пролетной трубкой внутри (разрез).



Рис. (7.13)2. Пилотный образец трубки дрейфа.



Рис. (7.13)3. Трубка дрейфа в камере установки ЭЛС.

Полностью изготовлены 10 комплектов штанг подвесок, частично готовы еще 40 (не выполнена окончательная мехобработка, чтобы сохранить возможности корректировки длины штанги с учетом фактических размеров посадочного места на корпусе резонатора). Частично готовы 50 пролетных трубок – выполнены каналы охлаждения в деталях, детали спаяны, узел готов к финишной обработке. Финишная обработка производится после точного определения размеров трубки дрейфа по результатам измерений готового корпуса резонатора.

Изготовлены корпуса резонаторов первого модуля (3 ускоряющих резонатора и 2 резонатора связи, см. Рис.(7.13)4 и (7.13)5). Закончено нанесение на внутреннюю поверхность резонаторов медного покрытия. Частично обработаны корпуса резонаторов модулей 2 и 3.



Рис.(7.13)4. Корпус резонатора 1-го модуля, подготовленный к вакуумным испытаниям.



Рис.(7.13)5. Ячейка связи первого модуля после нанесения медного покрытия.

Настройка и измерения в ИЯФ первого модуля запланированы на январь 2011 года.

Работа выполняется при финансовой поддержке МНТЦ (Международный научно-технический центр, г. Москва).

В работе принимали участие Трибендис А.Г., Кенжебулатов Е.К., Ротов Е.А., Матяш Н.В., Купер Э.А., Селиванов А.Н., Федотов М.Г., Чертовских А.Г., Крючков Я.Г., Бирючавский Ю.А..



**8**

**Мощные  
электронные  
ускорители**



## 8.1 Радиационные технологии и ускорители электронов серии ЭЛВ

В 2010 году ИЯФ осуществил поставку 9 ускорителей ЭЛВ, произвел шеф-монтаж 4 поставленных ранее машин и подписал более 20 контрактов на поставку ускорителей ЭЛВ в 2011-2012 годы. Портфель заказов на эти годы сформирован полностью. Такое резкое увеличение спроса на наши ускорители объясняется несколькими факторами. Первый: возросший спрос в связи с завершением экономического кризиса. Второй - не менее важный – повышение эксплуатационных параметров, обеспечивающее мощность 100 кВт в диапазоне 1,0 – 1,5 МэВ. При этом себестоимость и цена ускорителя изменились незначительно.

Достаточно интересно выглядит статистика спроса на ускорители.

Сравним последние 30 заключенных контрактов.

Мощность, кВт	100	50	< 50
Число ускорителей	27	2	1

Налицо смещение в сторону больших мощностей. Единственный ускоритель мощностью менее 50 кВт – это мобильный ускоритель.

Энергия, МэВ	2,5	1,5	1,0
Число ускорителей	9	11	10

По энергии запрашиваемые ускорители распределены равномерно.

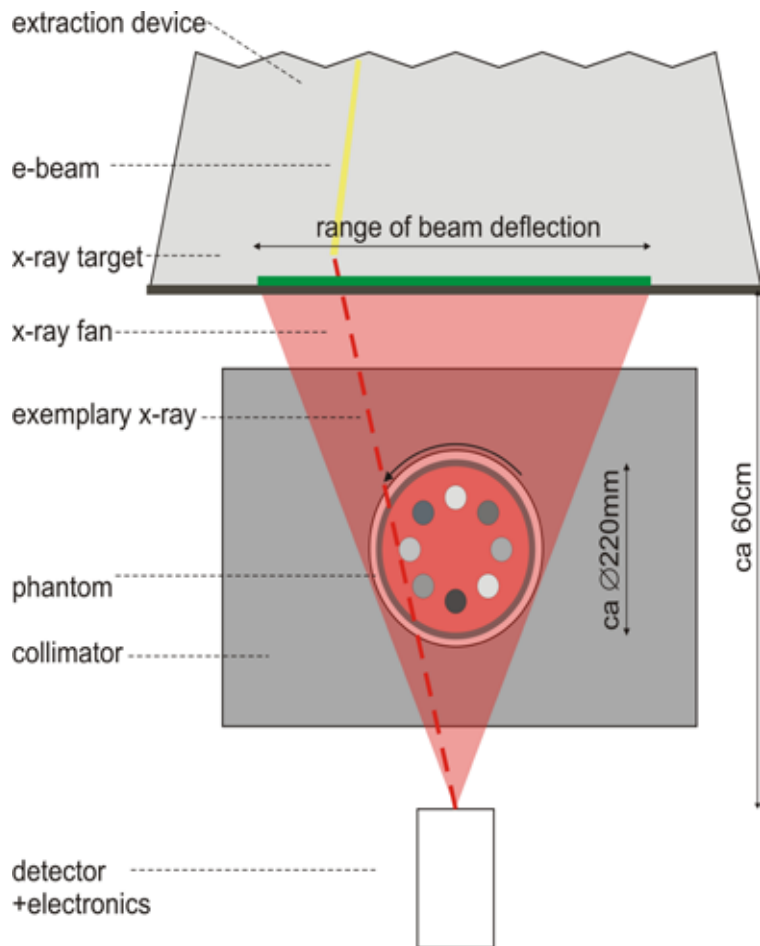
В 2010 году совместно с сотрудниками Института исследования безопасности (Германия) были проведены эксперименты по моделированию электронно-лучевой компьютерной томографии с использованием электронного пучка ускорителя ЭЛВ.

В компьютерной томографии поперечные сечения объектов обычно воспроизводятся с помощью движущегося рентгеновского источника с последующей реконструкцией образов при помощи компьютера. Немецкая сторона предложила использовать сканирующий электронный пучок вместо движущегося источника. В Дрездене ранее на базе электронной пушки с напряжением 150 кВ был разработан и создан компьютерный томограф, позволяющий производить до 7000 образов объекта в секунду с разрешением до 1 мм. Основное применение данной технологии – визуализация газо-жидкостных потоков в трубопроводах.

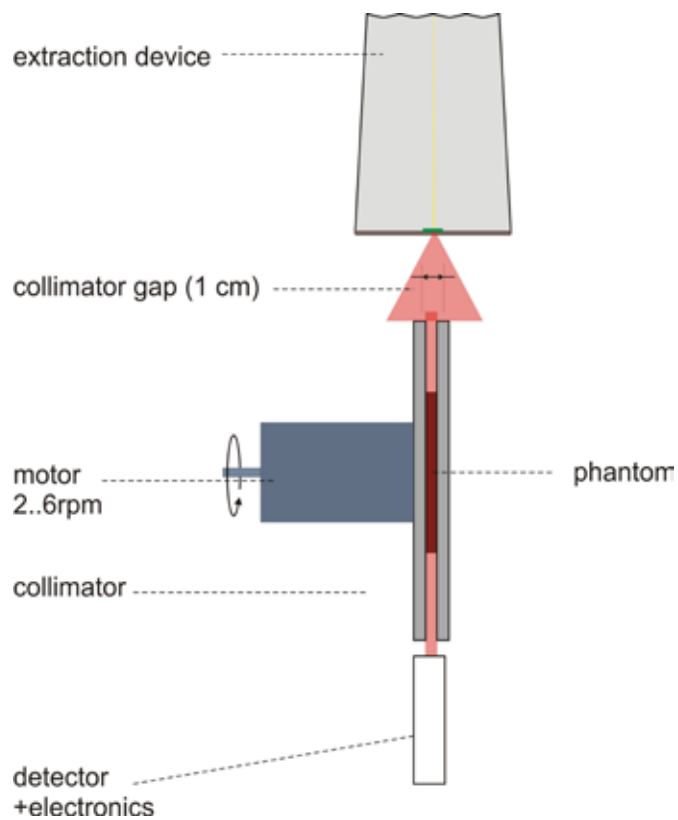
Для увеличения разрешения и возможностей данной технологии немецкой стороной было предложено использовать сканирующий электронный пучок ускорителя ЭЛВ, сфокусированный до минимального размера в месте расположения танталовой мишени. Общий вид экспериментальной установки показан на Рис.(8.1) 1, а поперечный разрез конвертера приведен на Рис.(8.1)2.

Выводное окно выпускного устройства ускорителя ЭЛВ было модифицировано. Вместо обычно используемой титановой фольги была установлена водоохлаждаемая алюминиевая мишень. Для уменьшения нагрева стенок выпускного устройства с вакуумной стороны мишени установлены тепловые экраны, приваренные к мишени. В паз между тепловыми экранами и телом мишени помещался танталовый лист толщиной 0,4 мм с габаритами 600\*18 мм, используемый в качестве конвертера. Охлаждение конвертера происходило исключительно за счет теплового излучения. Минимальный поперечный размер пучка в экспериментах составлял  $0,7 \pm 0,1$  мм. Максимальный ток пучка не превышал 2 мА и определялся температурой сублимации танталового конвертера.

Под мишенью был установлен стальной коллиматор с шириной щели 1 см. В теле коллиматора устанавливался фантом, приводимый во вращение электродвигателем с частотой вращения от 2 до 6 оборотов в секунду для симуляции томографического изображения с кольцевым источником излучения. Под коллиматором находился детектор излучения с усилителем. Сигнал с детектора обрабатывался на компьютере, установленном в пультовой ускорителя.



a)



б)

Рис.(8.1)1. Продольный (а) и поперечный (б) вид установки моделирования компьютерной томографии.

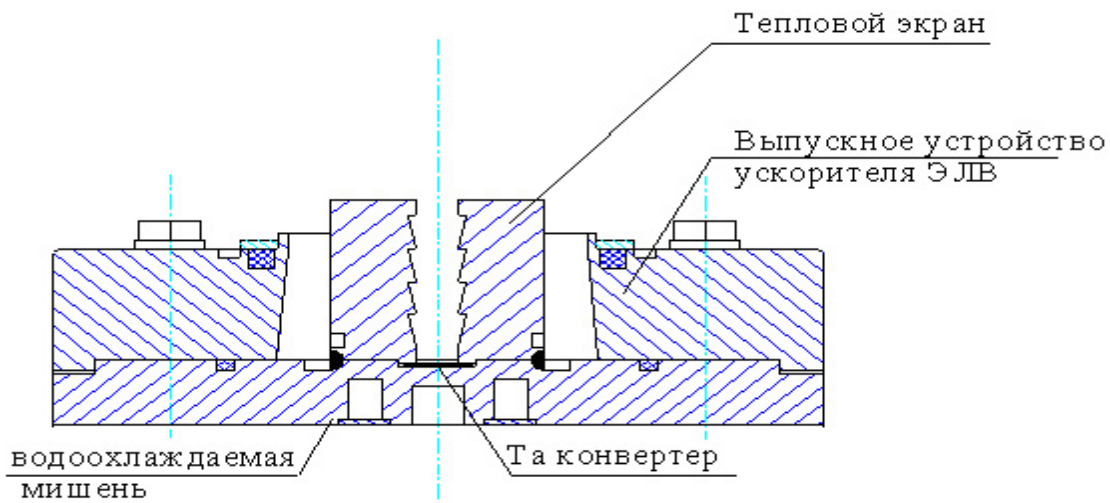


Рис.(8.1)2. Поперечный разрез конвертера тормозного излучения.

В результате успешно проведенных экспериментов были получены томограммы фантомов с разрешением до 2 мм, что вполне удовлетворительно при использовании одного детектора.

После полной обработки экспериментальных данных германская сторона решила подписать контракт на поставку ускорителя ЭЛВ со следующими параметрами: энергия ускоренных электронов – 1 МэВ, ток пучка – до 100 мА, величина пульсаций энергии не должна превышать  $\pm 5\%$ . Необычность данной поставки для нас заключается в том, что ускорительная трубка должна иметь возможность вращения на угол  $90^\circ$  относительно горизонтальной оси.

Единственно возможный вариант исполнения – использование выносной ускорительной трубки, установленной в отдельном сосуде и соединяющейся с высоковольтным выпрямителем при помощи фидера.

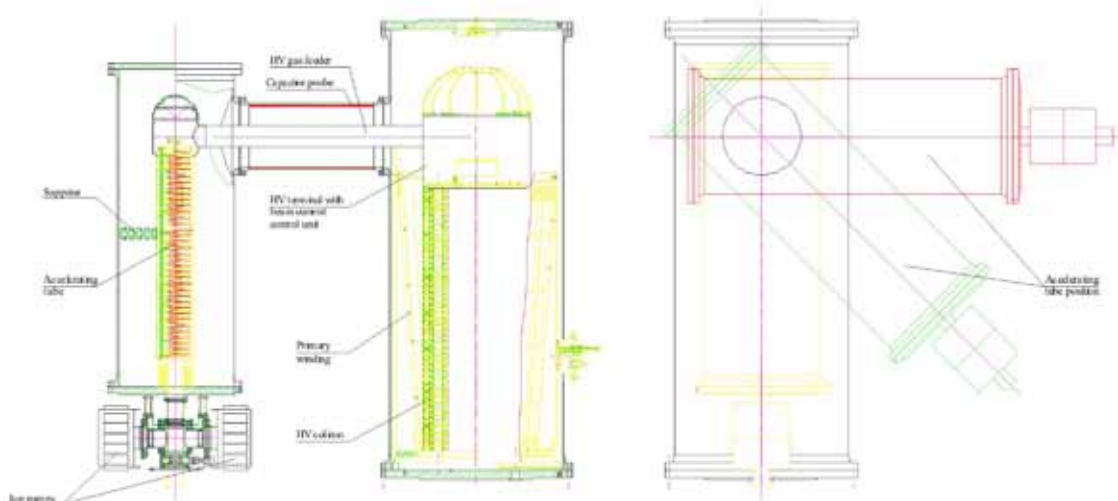


Рис.(8.1)3. Вариант компоновки ускорителя с выносной ускорительной трубкой.

Продолжались эксперименты на стенде лаборатории, оборудованном ускорителем ЭЛВ-6 с выводом в атмосферу сфокусированного электронного пучка.

Основная часть экспериментом была связана с получением нанопорошков.

1. В сотрудничестве с ИХТТиМ СО РАН была выполнена серия работ по получению мелкодисперсных порошков висмута и оксида висмута ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) для применения в медицине при изготовлении лекарственных препаратов, в частности препарата Де-Нол. В 2009 была получена произво-



дительность получения этих порошков: 150 – 250 г/ч при использовании только 20% от номинальной мощности электронного пучка. Однако средний размер частиц был велик: около 0,5 мкм. В 2010 году была показана принципиальная возможность уменьшения среднего размера частиц (Рис. (8.1)4), для чего на предварительном этапе пришлось существенно понизить производительность процесса.

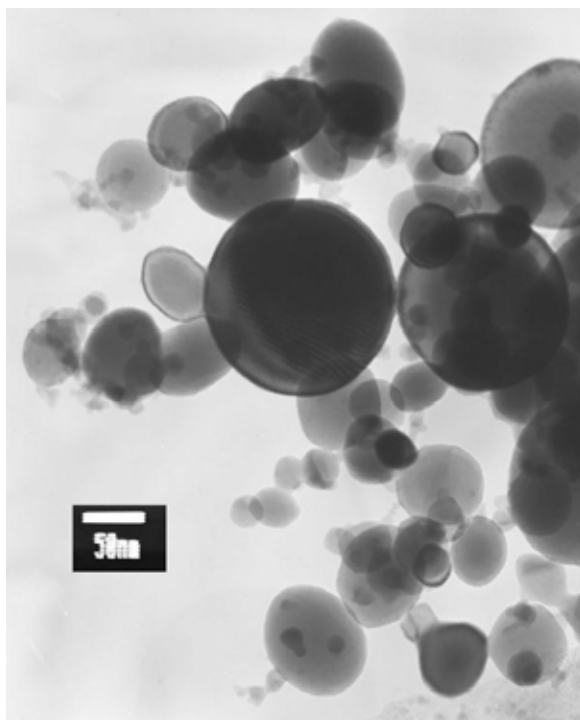


Рис.(8.1)4. Нанопорошок ZnO.

2. Совместно с ИТПМ СО РАН проводились исследования возможности получения оксида цинка (ZnO), который может применяться в медицине, солнечных батареях, фотокатализе, косметике, создании газовых сенсоров, лакокрасочной промышленности, а также ряде других перспективных высокотехнологичных отраслей. Серия экспериментов проводилась непосредственно по запросу экспортно-ориентированного предприятия, изучающего возможность создания альтернативной технологии для промышленного получения наноразмерных порошков оксида цинка с целью использования в резинотехнических приложениях. Для получения этого вещества исходный материал в виде металлического цинка помещался в сублиматор, и затем нагревался пучком электронов в воздушной атмосфере, соответственно пары цинка окислялись с образованием окиси цинка. В результате получен порошок сложной структуры, результаты просвечивающей электронной микроскопии приведены на Рис.(8.1)5.

Кристаллы имеют разнообразную форму – есть игольчатые, круглые, и призматические, с размерами от 50 нм до 1 микрона. Имеются сростки частиц. Поверхность частиц в основном гладкая. Имеется и мезопористая фракция с размерами блоков и мезопор около 5 нм.

В целом результаты экспериментов подтвердили принципиальную возможность получения оксида цинка на установке для получения наноразмерных порошков. Образцы переданы промышленному предприятию - инициатору работ для оценки свойств полученного материала.

3. Методом испарения исходной графитовой мишени в среде инертных газов были получены углеродные наноструктуры: нанохорны и нанотрубки. Для получения многостеночных (MWNT) и одностеночных (SWNT) нанотрубок в приготовленные прессованием графитового порошка таблетки добавлялся катализатор. Для получения нанохорнов производилось испарение чистого графитового образца. На Рис.(8.1)6а показан пример длинной многостеночной нанотрубки, на Рис. (8.1)6б – скопление одностеночных нанотрубок, которые представляют больший научный и практический интерес, чем многостеночные. На Рис.(8.1)7 показан нанопорошок, состоящий из нанохорнов.

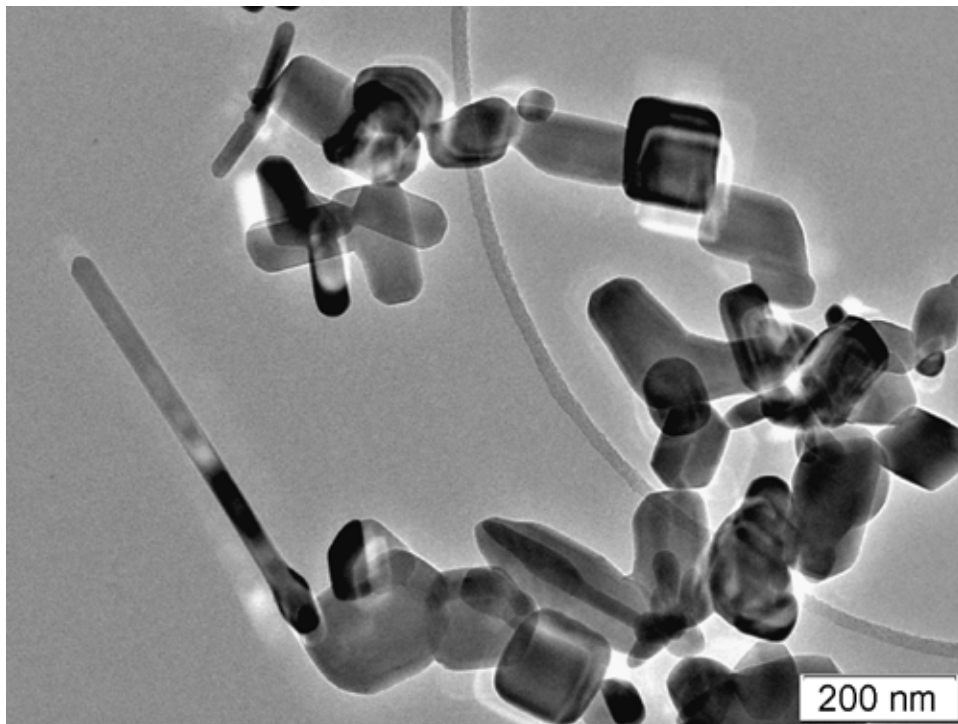
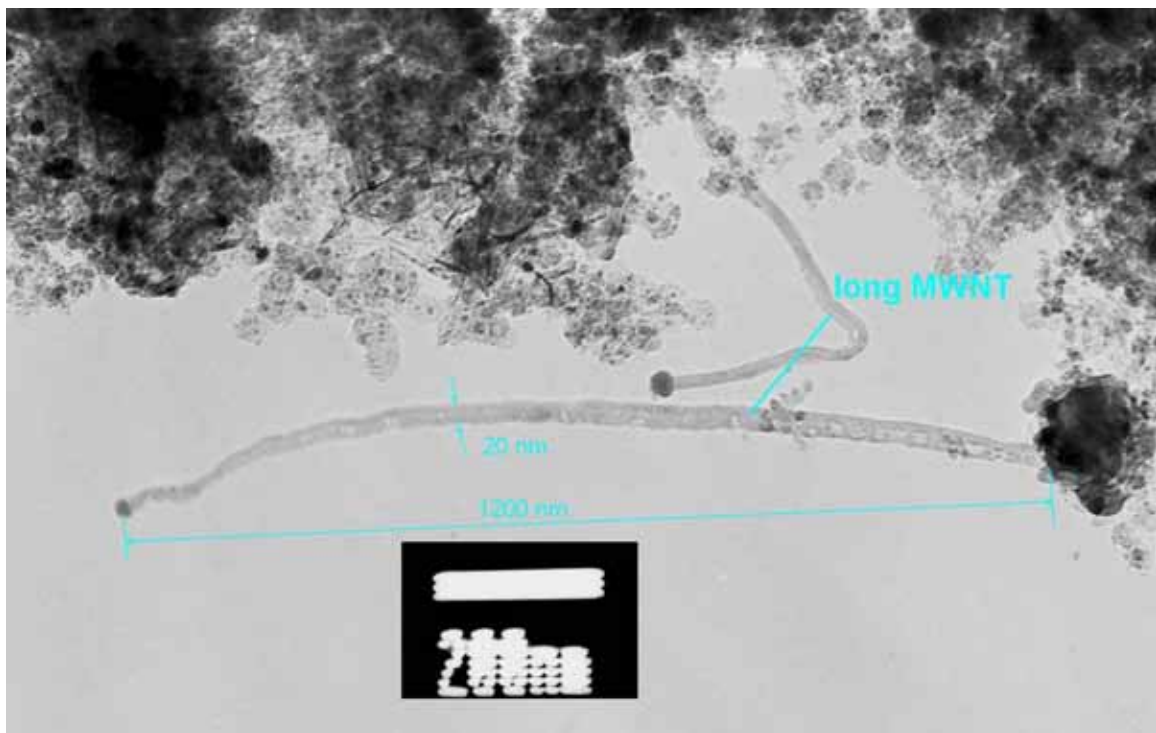


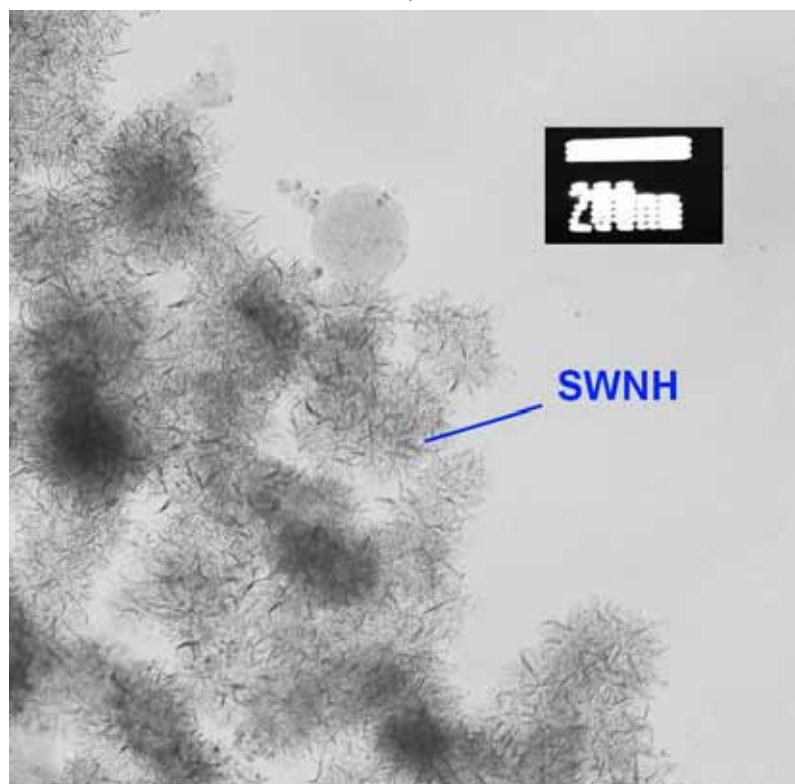
Рис.(8.1)5. Кристаллы ZnO.

Другая часть экспериментов на стенде была связана с формированием покрытий на металлических основах методом наплавки.

Продолжились исследования покрытий системы Ti-Ta-Nb, выполняемые в сотрудничестве с НГТУ. Сплавы этой системы представляют интерес с точки зрения их антикоррозионных свойств как наилучшие в настоящее время биосовместимые материалы и как материал для футеровки реакторов химической переработки отходов ядерных электростанций. Концентрация легирующих элементов - тантала и ниобия варьировалась в пределах от 3 до 35% по весу при толщине покрытий 1–2 мм. Получено два типа структур: мартенситная при низкой концентрации легирующих элементов (до 10%) и дендритная при более высоких концентрациях. Состав и структура покрытий однородна по толщине. Рентгеновский анализ с поверхности покрытий показывает наличие во всех покрытиях в основном только одной фазы -  $\alpha$ -титана, однако при повышении скорости формирования покрытия замечается наличие не полностью растворённых частиц тантала ближе к дну ванны расплава. Твёрдость покрытий на 60% превышает твёрдость основы вследствие твёрдорастворного упрочнения.



а)



б)

Рис.(8.1)6. Многостеночные (а) и одностеночные (б) нанотрубки.

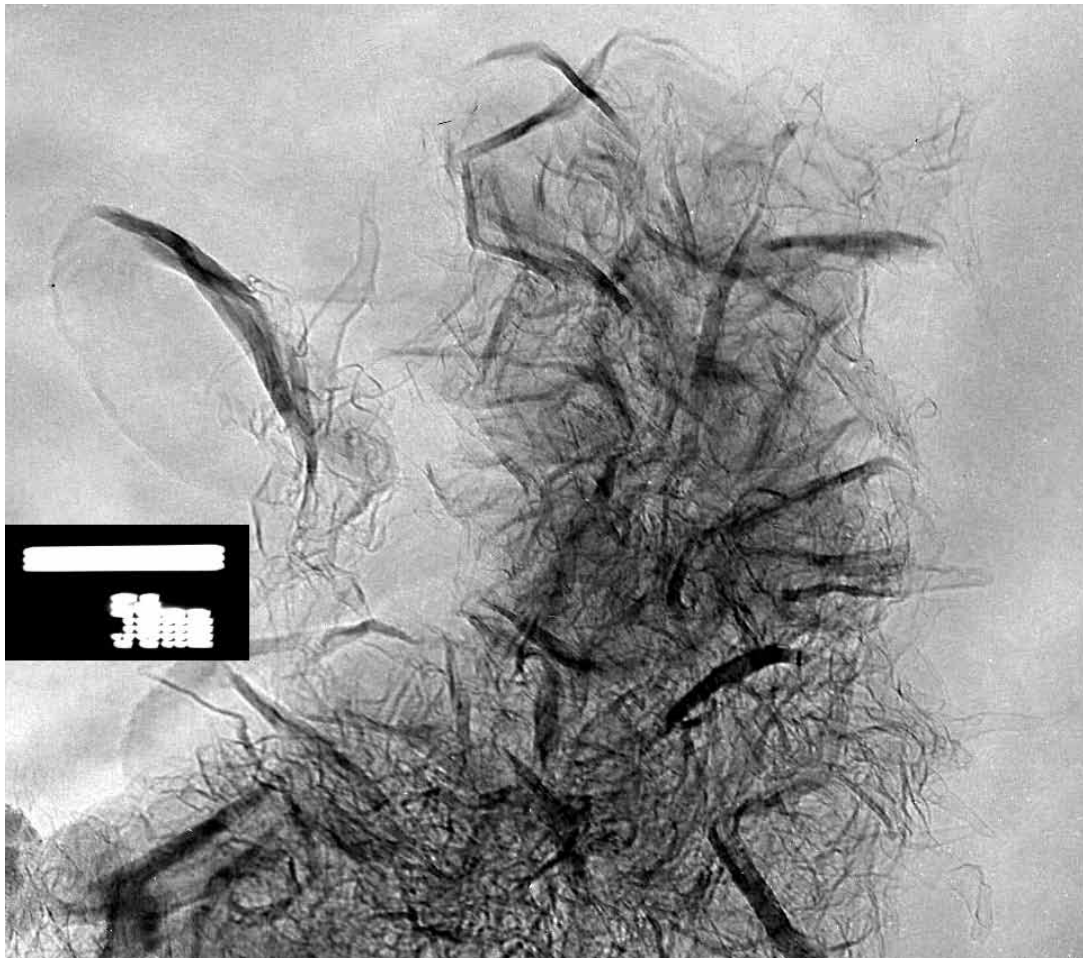


Рис.(8.1)7. Скопление нанохорнов.

## 8.2 Ускорители электронов типа ИЛУ и их применение

### 8.2.1 Поставки ускорителей

Начиная с 1983 года, ускорители типа ИЛУ используются для исследовательских работ и для работы в составе промышленных технологических линий. Некоторые из этих машин загружены работой 2-3 смены в сутки на протяжении многих лет и успешно выдерживают подобную нагрузку. Надежность работы ускорителей и их технический уровень подтверждаются новыми поставками оборудования.

По контракту с фирмой «RadPol», г. Члухов, Польша, в марте 2010 года был запущен в работу модернизированный ускоритель ИЛУ-6, работавший в этой фирме с 1983 года. Максимальная энергия ускорителя до модернизации была 2 МэВ, после модернизации максимальное значение энергии 2,5 МэВ, максимальный ток пучка 10 мА. Система управления модернизирована и перемещена в пультовую ускорителя ИЛУ-10, теперь один оператор управляет двумя ускорителями – ИЛУ-10 и ИЛУ-6, совместно работающими в составе комплекса по облучению пластиковых изделий.

По договору с заводом «Чувашкабель», г. Чебоксары, в 2010 году запущен в работу ускоритель ИЛУ-8 в местной биологической защите. Установка стабильно производит облучение проводов.

По договору с Сибирским центром фармакологии и биотехнологии (СЦФБ) изготовлен второй ускоритель ИЛУ-10 с энергией 5 МэВ и током пучка до 10 мА. Этот ускоритель собран и запущен в работу в институте, достигнуты проектные параметры.



### 8.2.2 Работы на прототипе модульного линейного ускорителя электронов

На протяжении 2010 года были проведены работы по настройке элементов и отработке режимов работы на прототипе ускорителя, его блок-схема приведена на Рис.(8.2)1.

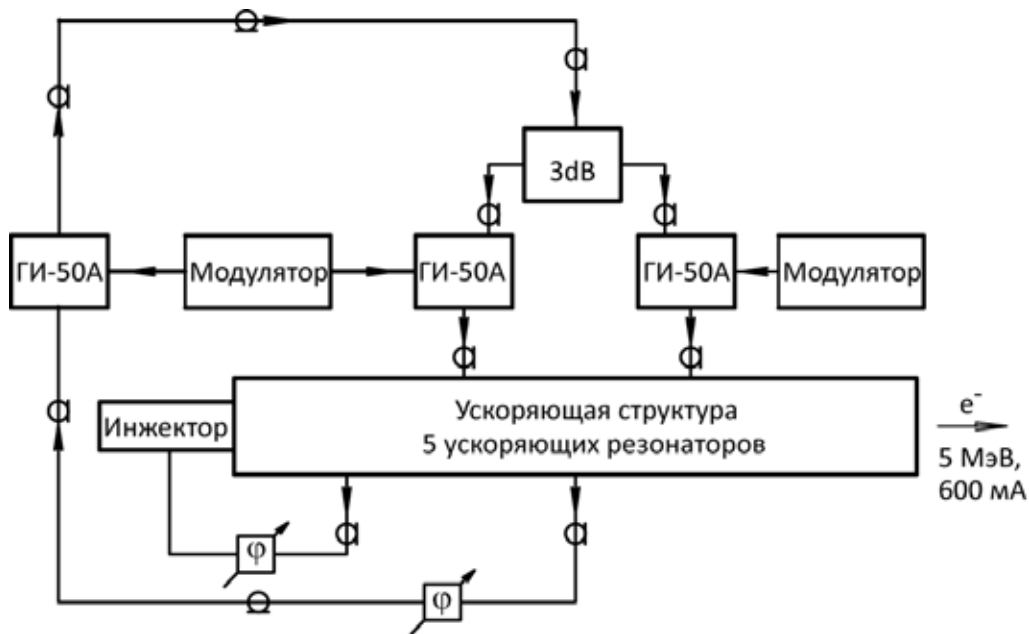


Рис.(8.2)1. Блок-схема прототипа ускорителя.

В результате проведения этих работ отработана качественно новая ВЧ система – ВЧ генератор с двумя вводами ВЧ мощности в ускоряющую структуру и предварительным каскадом. Проведены испытания инжектора с ВЧ управлением. Измеренный спектр пучка ускорителя соответствует расчётному.

Ускоряющая система прототипа состояла из 5 ускоряющих ячеек (трёх полных и двух торцевых половинных) и 4-х ячеек связи. ВЧ мощность подавалась в две крайние полные ускоряющие ячейки, сигнал обратной связи брался из средней ускоряющей ячейки.

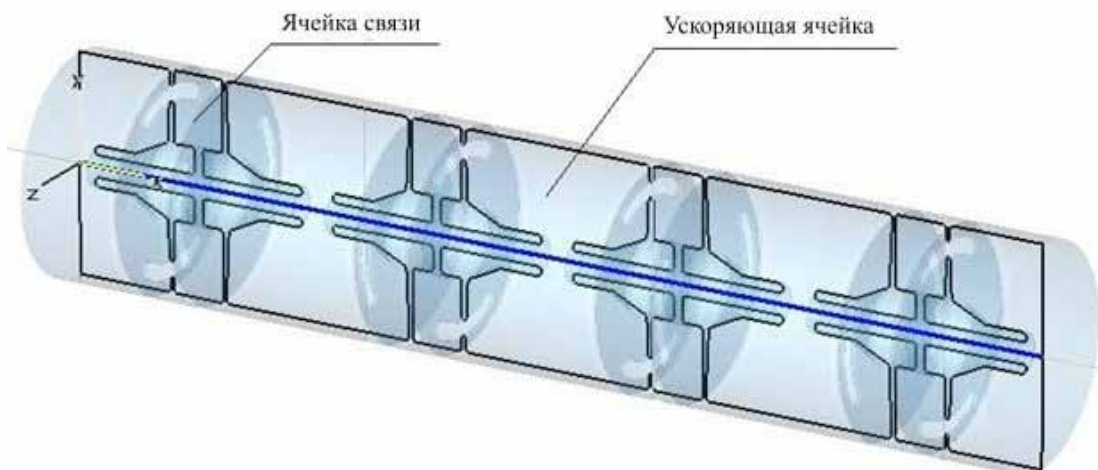


Рис.(8.2)2. Вид ускоряющей структуры прототипа.

Достигнуты следующие параметры: энергия 5 МэВ, импульсный ток 600 мА, что соответствует 3 МВт импульсной мощности в пучке. Потери мощности в резонаторе составляли 0,8 МВт. Импульсная мощность, полученная от каждого выходного каскада генератора – 1,8 МВт. Таким образом, от ВЧ системы получена необходимая импульсная мощность для получения проектных параметров в ускорителе ИЛУ-14 с четырьмя оконечными каскадами ВЧ генератора.



### 8.2.3 Изготовление и испытания модульного линейного ускорителя электронов ИЛУ-14

После завершения работ на прототипе к его ускоряющей структуре были добавлены 2 полные ускоряющие ячейки и 2 ячейки связи. Получилась структура с 5 полными и 2 половинными ускоряющими ячейками. Ускоряющая структура ИЛУ-14 показана на Рис.(8.2)3.

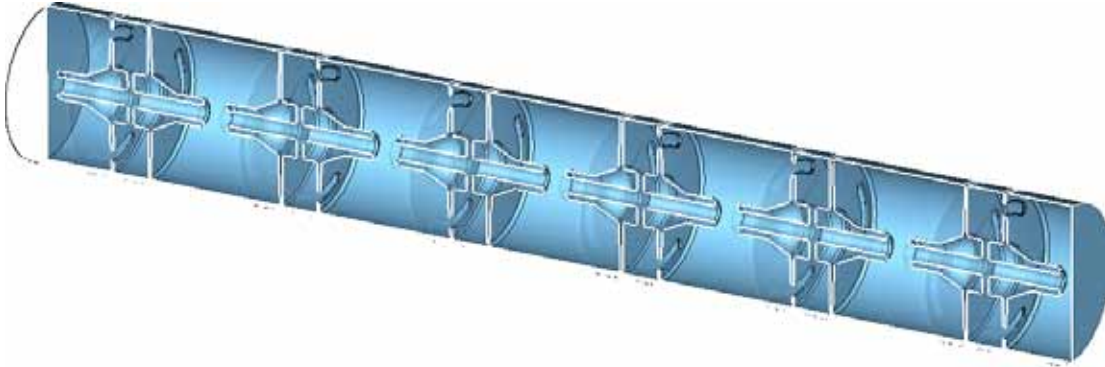


Рис.(8.2)3. Ускоряющая структура ИЛУ-14.

Сигнал обратной связи в ускорителе ИЛУ-14 берётся из центральной полной ускоряющей ячейки, а ввод ВЧ мощности в ускоряющую структуру осуществляется в четыре оставшиеся полные ячейки. Половинные ускоряющие ячейки расположены в начале и конце структуры, так же, как и в прототипе ускорителя, см. Рис.(8.2)1 и Рис.(8.2)2.

ИЛУ-14 - мощная (до 100 кВт) многозаярная многорезонаторная машина с рабочим диапазоном энергии 7,5-10 МэВ. Блок-схема ускорителя ИЛУ-14 приведена на Рис. (8.2) 4. Основными элементами являются: бипериодическая ускоряющая структура с резонаторами связи на оси, состоящая из семи ускоряющих ячеек; автогенератор, состоящий из одного предварительного и четырех оконечных каскадов на триодах ГИ-50А; четыре ввода мощности; триодная ВЧ-пушка с возможностью подачи дополнительного ВЧ напряжения на зазор сетка-катод; и 3 модулятора.

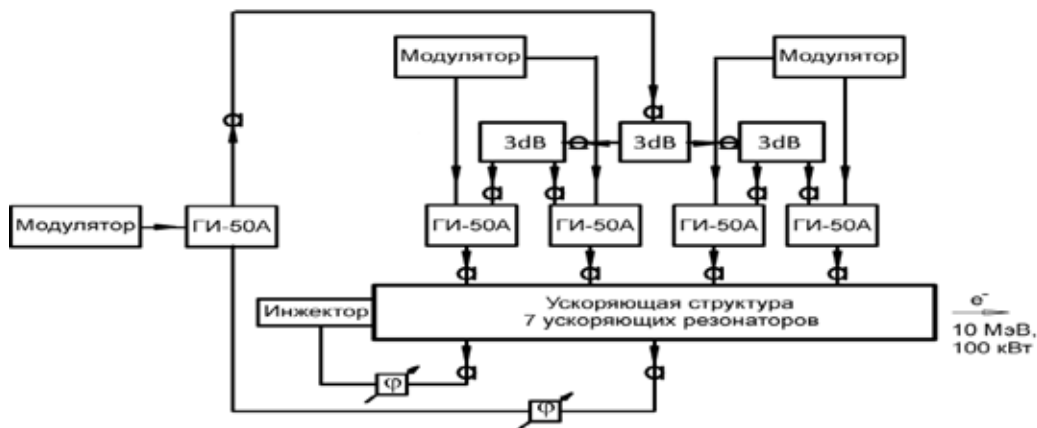


Рис.(8.2)4. Блок-схема ускорителя ИЛУ-14 на энергию 10 МэВ и мощность 100 кВт.

Разработана принципиально новая система синхронизации модуляторов. Накопление энергии в индуктивных реакторах каждого модулятора разнесены по времени. В результате удалось уменьшить неравномерность загрузки трехфазной сети ( $R_{\text{пик}}/R_{\text{ср}}$ ) с 2 до 1,3. Модуляторы смонтированы и их совместная работа проверена.

На базе блоков УМ, изготовлена система питания магнитов для ускорителя ИЛУ-14.

В 2010 году были завершены работы по подготовке бункера для проведения испытаний ускорителя ИЛУ-14. Энергия этого ускорителя – до 10 МэВ, пучок ускоряется и выводится горизонтально. Бункер был рассчитан на ускоритель с направлением пучка вертикально вниз и максимальной энергией 2,5 МэВ.

Для обеспечения безопасности испытаний был проведён расчёт требуемых усиления радиационной защиты бункера. По результатам расчётов были собраны 3 местных усиления радиационной защиты – одно изготовлено из стали (отходов металлообработки экспериментального производства) и два из свинцовых кирпичей. Эффективность защиты будет проверена на следующих этапах испытаний.

В 2010 году начаты испытания ускорителя ИЛУ-14, была произведена настройка структуры и вводов ВЧ мощности.

Настроена новая схема двухкаскадного ВЧ генератора с трёхдецибелными делителями ВЧ мощности на выходе первого каскада. Проведены первые испытания ускорителя с пучком.

Без пучка на ускоряющей структуре достигнуто эффективное ускоряющее напряжение 10 МВ. С пучком работы проводились в интервале энергий от 7 до 10 МэВ. Испытания и отладка ускорителя продолжаются.

Разработан проект комплекса для стерилизации медицинских изделий и деконтаминации опасных медицинских отходов на основе ускорителя ИЛУ-14 в ФМБЦ им. ак. Бурназяна (г. Москва).

Работа по испытаниям и отладке ускорителя ИЛУ-14 будет продолжена в 2011 году.

#### 8.2.4 Разработка новых технологий

В 2010 году были продолжены работы по радиационно-термическому синтезу сложных оксидных соединений. Радиационно-термическое спекание перовскитоподобных соединений для создания мембран проводилось в рамках Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №82 «Кислородная проницаемость массивных и нанесённых мембран на основе перовскитов со смешанной проводимостью».

Опытные работы по радиационно-термическому синтезу ячеек топливных элементов велись совместно с Институтом катализа СО РАН.

Поисковые работы по радиационной обработке нефтепродуктов проведены в рамках Интеграционного проекта №5, проводимого по заказу Президиума СО РАН «Уникальные устройства и стенды для развития исследовательской инфраструктуры СО РАН, обеспечивающей возможность проведения нестандартных исследований в области химии и биологии. Радиационный крекинг тяжелого нефтяного и альтернативного углеводородного сырья». В работах принимали участие Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН и Институт химии нефти СО РАН, город Томск.

Проведены тестовые облучения для определения радиорезистентности микроорганизмов.

Продолжались хозяйственные работы по стерилизации различных медицинских изделий. Для этих работ использовались ускорители ИЛУ-6 и ИЛУ-10.

В работах принимали участие:

А.А. Брызгин, В.В. Безуглов, А.Ю. Власов, В.А. Горбунов, И.В. Горнаков, Б.А. Довженко, А.М. Молокоедов, Л.А. Воронин, М.В. Коробейников, А.Н. Лукин, И.Г. Макаров, С.А. Максимов, В.Е. Нехаев, Г.Н. Острейко, А.Д. Панфилов, В.В. Подобаев, Г.В. Сердобинцев, А.В. Сидоров, В.В. Тарнецкий, М.А. Тиунов, В.О. Ткаченко, А.А. Тувик, Б.Л. Факторович, В.Г. Ческидов, Е.А. Штарклёв, А.М. Якутин.

**9**  
**Физика**  
**для**  
**медицины**



## 9.1 Статус работ по БНЗТ

Проведены работы по оптимизации транспортировки мощного стационарного протонного пучка на литиевую мишень, а так же работы по защите и повышению надёжности уязвимых узлов высокоэнергетичного тракта. В результате техническое состояние ускорительного комплекса выведено на уровень, позволяющий осуществлять длительную, стабильную генерацию нейтронов. Благодаря введению дополнительной диагностики пучка удалось осуществить стабильную генерацию нейтронов с током пучка 0,7 мА в течение 5 часов, а предельный ток протонов на литиевой мишени увеличен до 1,8 мА. Решены все проблемы с выдержкой и временным хранением активированных мишеней. Прделанные работы позволили начать первые биологические эксперименты по нейтронозахватной терапии.

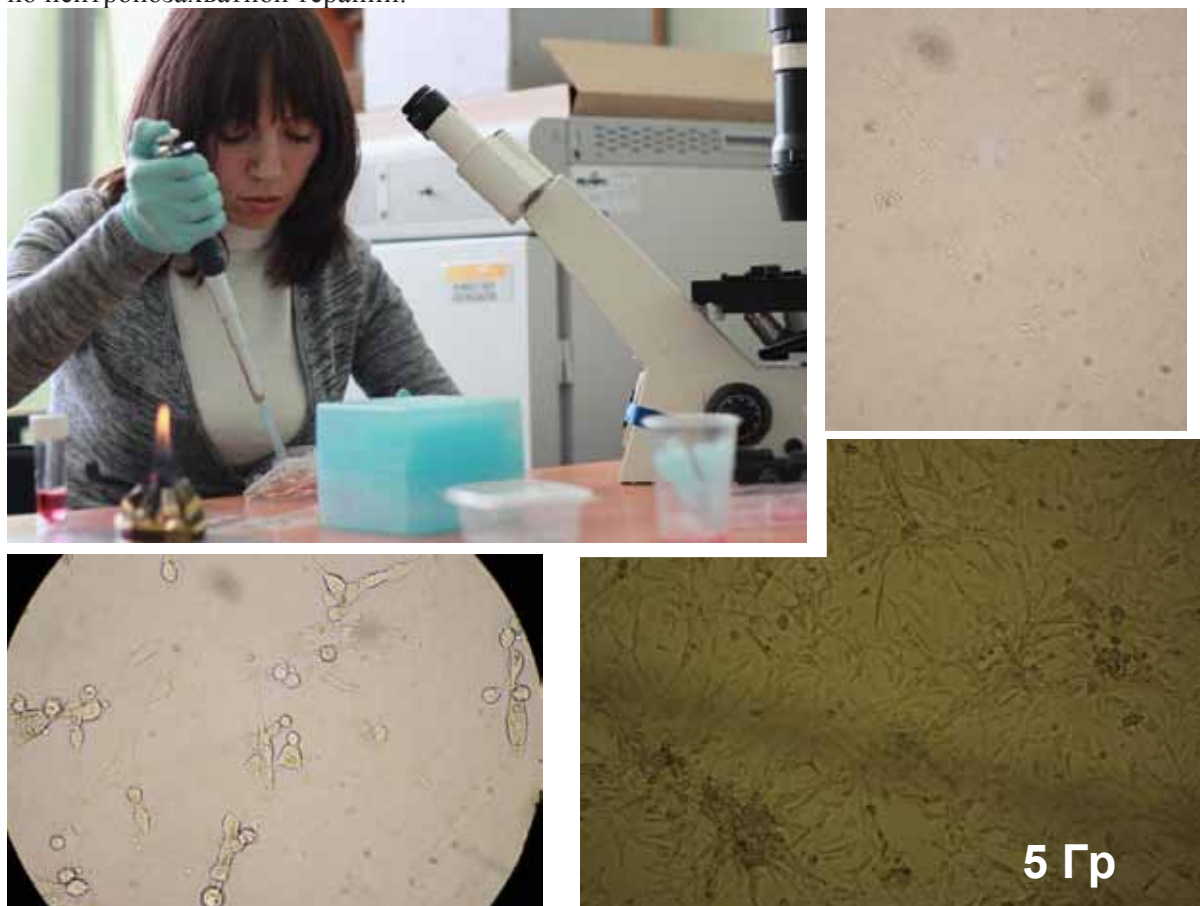


Рис. (9.1)1. Проведение первых исследований *in vitro* на установке БНЗТ.

Для изучения спектра нейтронов разработана и изготовлена уникальная времяпролётная система. Суть подхода состоит в том, что ускорительный комплекс работает в стабильном режиме генерации пучка протонов с энергией чуть ниже порога реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ , в то же время на литиевую мишень, изолированную от корпуса установки, подаются короткие импульсы напряжения отрицательной полярности, доускоряющие протоны до энергии, превышающей порог реакции, в результате чего генерируются короткие импульсы нейтронов (рис. (9.1)2).

В экспериментах по генерации резонансных гамма-квантов в реакции  ${}^{13}\text{C}(p,\gamma){}^{14}\text{N}$  измерены интенсивности слабых спектральных линий и коэффициенты ветвления с недостижимой ранее точностью, что удалось осуществить, благодаря использованию новой системы регистрации гамма-квантов с высоким быстродействием.

Освоен режим длительной стабилизации энергии протонов при генерации резонансных гамма-квантов в припороговом режиме. Благодаря автоматической коррекции ускорительного напряжения в соответствии с измеряемым выходом гамма-квантов удалось обеспечивать точность энергии протонов 0,15 % в течение 2,5 часов.



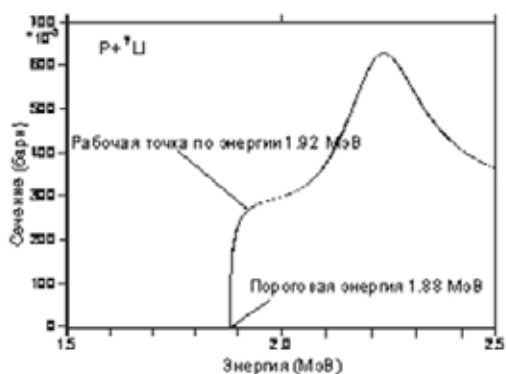


Рис.(9.1)2. Зависимость сечения рождения нейтрона от энергии протона.

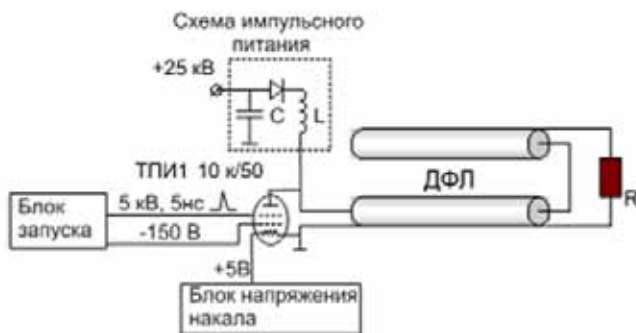


Рис.(9.1)3. Схема источника высоковольтных импульсов.

## 9.2 Детекторы рентгеновского излучения для медицины и досмотра людей

### 9.2.1 Медицинская рентгенография

Институтом для ЗАО «Научприбор» (г. Орел) произведено 13 экземпляров 1536 – канальных детекторов, которые были поставлены в медицинские учреждения России в составе цифровых сканирующих флюорографов ФМЦ-НП-О.

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

В аэропорту Толмачево для повышения уровня антитеррористической защиты установлена и введена в эксплуатацию вторая установка СРК «Сибскан», расположенная в международном терминале.

В 2010 году на основе накопленного за предыдущие годы опыта разработан новый вариант установки СРК. Одним из основных преимуществ нового варианта является уменьшение габаритных размеров. Занимаемый установкой СРК объём уменьшился с 15 м<sup>3</sup> до 9,5 м<sup>3</sup>. Это снижает требования к помещению, в котором размещается установка, и, соответственно, расширяет возможности по ее применению. По разработанной конструкторской документации ведется изготовление пилотного образца установки. Завершение этой работы планируется в 2011 году.

### 9.2.3 Работы для физики высоких энергий

Разработана, изготовлена и запущена в эксплуатацию электроника координатных камер для выведенного пучка меченых позитронов или электронов. В составе нового детектора КМД-3 запущен в полном объеме торцевой калориметр. Сотрудники института принимали активное участие в проведении экспериментов с детектором «ATLAS» в ЦЕРНе и эксперимента по поиску безнейтринного распада мюона «MEG» в PSI, Швейцария.

## БИБЛИОГРАФИЯ

### Список публикаций

- [1] Голубенко Ю.И., Куксанов Н.К., Салимов Р.А., Немытов П.И. Вывод мощного пучка электронов в атмосферу через два параллельно расположенных листа титановой фольги. // ПМТФ. - 2010. - Т.51, - N2. - С.3-6; J. of Applied Mechanics and Technical Physics. - 2010. - Vol.51. - N2. - P.145-147.
- [2] Анчугов О.В., Блинов В.Е., Богомягков А.В., Волков А.А., Журавлев А.Н., Карнаев С.Е., Киселев В.А., Левичев Е.Б., Мешков О.И., Мишнев С.И., Морозов И.И., Мучной Н.Ю., Никитин С.А., Николаев И.Б., Петров В.В., Пиминов П.А., Симонов Е.А., Синяткин С.В., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Тихонов Ю.А., Тумайкин Г.М., Цуканов В.М., Шамов А.Г., Шатилов Д.Н., Шведов Д.А. Применение методов ускорительной физики в экспериментах по прецизионному измерению масс частиц на комплексе ВЭПП-4 с детектором КЕДР. // ПТЭ. - 2010. - N1. - С.20-33; Instruments and Experimental Techniques. - 2010. - Vol.53. - N1. - P.15-28.
- [3] Аруев П.Н., Забродский В.В., Колокольников Ю.М., Коваленко Н.В., Легкодымов А.А., Николенко А.Д., Лях В.В., Пиндюрин В.Ф., Суханов В.Л. Предварительная калибровка полупроводниковых детекторов в области мягкого рентгеновского диапазона на синхротронном излучении из накопителя ВЭПП-4. // Поверхность. - 2010. - N2. - С.19-24; Surface Investigation-X-Ray Synchrotron and Neutron Techniques. - 2010. - Vol.4. - N1. - P.99-103.
- [4] Пахлова Г.В., Пахлов П.Н., Эйдельман С.И. Экзотический чармоний. // УФН. - 2010. - Т.180. - N3. - С.225-248.
- [5] Ерохин А.И., Медведко А.С., Скоробогатов Д.Н., Селиванов П.А. Четырехкватратный преобразователь напряжения 600 В, 500 А. // ПТЭ. - 2010. - N2. - С.90-96.
- [6] Полосаткин С.В., Гришняев Е.С., Давыденко В.И., Иванов И.А., Подыминогин А.А., Шиховцев И.В. Оптическая спектроскопия плазмы ВЧ-эмиттера мощного инжектора быстрых нейтралов. // ПТЭ. - 2010. - N2. - С.104-109.
- [7] Димов Г.И., Емелёв И.С. Распределение потенциала плазмы в тандемном поверхностно-плазменном источнике отрицательных ионов. // Письма в ЖТФ. - 2010. - Т.36. - N6. - С.15-21.
- [8] Козырев Е.В. Электронные приборы СВЧ. // Учеб. пособие, Новосибирск: НГУ, 2010. - 156с.
- [9] Вострецов А.Г., Бурдаков А.В., Радченко С.Е., Кузнецов А.С., Суляев Ю.С. Метод обнаружения поглощения гамма-квантов при прохождении их через азотосодержащее вещество. // Автометрия. - 2010. - Т.46. - N3. - С.22-29.
- [10] Бондаренко А.В., Винокуров Н.А., Мигинский С.В., Острейко Г.Н. Новая схема экстракции пучка из синхротрона с использованием магнитного экрана в качестве септума. // ВАНТ. Сер. ядер. - физ. исследования. - 2010. - N3. - С.31-34.
- [11] Матвеев В.А., Сисакян А.Н., Скринский А.Н. Большой адронный коллайдер - новый шаг к познанию глубин материи. Вклад физиков России в крупнейший международный проект на рубеже XX и XXI веков. // Вестник РАН. - 2010. - Т.80. - N3. - С.204-217.
- [12] Жмуриков Е.И., Болховитянов Д.Ю., Блинов М.Ф., Ищенко А.В., Кот Н.Х., Титов А.Т., Цыбуля С.В., Teschio Luigi. К вопросу о долговечности реакторных графитов. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2010. - N5. - С.89-99.
- [13] Аникеев А.В., Багрянский П.А., Беклемишев А.Д., Лизунов А.А., Максимов В.В., Мурахтин С.В., Приходько В.В., Соломахин А.Л. Подавление продольных потерь в газодинамической ловушке при помощи амбиполярной пробки. // Физика плазмы. - 2010. - Т.36. - N5. - С.413-422.

- [14] Барняков А.М. Резонаторная сверхвысокочастотная нагрузка. // ПТЭ. - 2010. - N3. - С.72-75.
- [15] Колмогоров В.В., Абрашитов Г.Ф. Источник высоковольтного питания на основе распределенного емкостного накопителя энергии. // ПТЭ. - 2010. - N3. - С.68-71.
- [16] Аульченко В.М., Евдоков О.В., Жогин И.Л., Жуланов В.В., Прууэл Э.Р., Толочко Б.П., Тэн К.А., Шехтман Л.И. Детектор для излучения взрывных процессов на пучке синхротронного излучения. // ПТЭ. - 2010. - N3. - С.20-35.
- [17] Пельтек С.Е., Горячковская Т.Н., Рубцов Н.Б., Хлебодарова Т.М., Колчанов Н.А., Попик В.М., Пиндюрин В.Ф., Гольденберг Б.Г., Щеглов М.А., Кулипанов Г.Н. Микрофлюидные системы в биологии и конструирование геносенсоров. // НАНО. Технологии. Экология. Производство. - 2010. - N2(4). - С.84-87.
- [18] Барков Л.М., Гаушштейн В.В., Дмитриев В.Ф., Лазаренко Б.А., Левчук М.И., Логинов А.Ю., Мишнев С.И., Николенко Д.М., Осипов А.В., Рачек И.А., Сидоров А.А., Стибунов В.Н., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В., Зеваков С.А. Тензорная асимметрия в реакции фотообразования  $\pi$  мезонов на поляризованных дейтронах. // Изв. РАН. Сер. физ. - 2010. - Т.74. - N6. - С.780-783.
- [19] Герасимов В.В., Князев Б.А., Черкасский В.С. Получение спектрально-селективных изображений объектов в режиме нарушенного полного внутреннего отражения в реальном времени в видимом и терагерцовом диапазонах. // Оптика и спектроскопия. - 2010. - Т.108. - N6. - С.907-913.
- [20] Гаушштейн В.В., Логинов А.Ю., Николенко Д.М., Осипов А.В., Сидоров А.А., Стибунов В.Н. Виртуальные фотоны в реакции  $d(e, pp)e'\pi^1$ . // Изв. вузов. Физика. - 2010. - N5. - С.14-19.
- [21] Герасимов Р.Е., Фадин В.С. Вклад скаляров в ядро уравнения БФКЛ. // Ядер. физ. - 2010. - Т.73. - N7. - С.1254-1268; JETP. - 2010. - Vol.73. - N7. P.1214-1228.
- [22] Каменщик А.Ю., Покровский В.Л., Хрипович И.Б. К 90-летию академика И.М. Халатникова. Отделения физических наук Российской академии наук, 21 октября 2009г. // УФН. - 2010. - Т.180. - N3. - С.328-330.
- [23] Иванов А.В., Рева В.Б. Расчет электронного пучка с управляемым профилем для установок электронного охлаждения. // ПТЭ. - 2010. - N4. - С.77-83.
- [24] Черноусов Ю.Д., Иванников В.И., Шеболаев И.В., Левичев А.Е., Павлов В.М. Полосовые характеристики связанных резонаторов. // Радиотехника и электроника. - 2010. - Т.55. - N8. - С.923-929.
- [25] Князев Б.А., Никитин А.А., Черкасский В.С. Автоматическая регистрация движения объектов спекл-методом в терагерцовом диапазоне. // Автометрия. - 2010. - Т.46. - N4. - С.78-83.
- [26] Ведерников В.М., Дутов П.М., Кокарев А.И., Кирьянов В.П., Князев Б.А., Никитин В.Г., Пальчикова И.Г., Саметов А.Р., Ступак М.Ф., Чугуй Ю.В., Чуканов В.В. Дифракционные элементы для лазера на свободных электронах. // Автометрия. - 2010. - Т.46. - N4. - С.84-97.
- [27] Терехов А.В., Тимофеев И.В., Лотов К.В. Двухмерная численная модель плазмы для изучения процессов пучково-плазменного взаимодействия. // Вестник НГУ. - 2010. - Т.5. - N2. - С.85-97.
- [28] Силагадзе З.К., Чашина О.И. Задача преследования зайца волком как упражнение элементарной кинематики. // Вестник НГУ. - 2010. - Т.5. - N2. - С.111-115.
- [29] Николенко Д.М., Аренховель Х., Аррингтон Дж., Барков Л.М., Белостоцкий С.Л., де Врис Х., Гилман Р., Грамолин А.В., Дмитриев В.Ф., Зеваков С.А., Карнаков И.В., Лазаренко Б.А., Мишнев С.И., Мучной Н.Ю., Нелюбин В.В., Осипов А.В., Поттервельд Д.Х., Рачек И.А., Садыков Р.Ш., Стибунов В.Н., Топорков Д.К., Холт Р.Дж., Шестаков Ю.В., Шехтман Л.И. Эксперименты с внутренними мишенями на накопителе электронов ВЭПП-3. // ЯФ. - 2010. - Т.73. - N8. - С.1365-1381.
- [30] Ачасов М.Н., Белобородов К.И., Бердюгин А.В., Богданчиков А.Г., Букин Д.А., Васильев А.В., Голубев В.Б., Димова Т.В., Дружинин В.П., Кооп И.А., Король А.А., Кошуба С.В.,

- Пахтусова Е.В., Средняков С.И., Силагадзе З.К., Скринский А.Н., Шатунов Ю.М., Штоль Д.А. Измерение сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  в области энергии  $\sqrt{s}=1.04-1.38$  ГэВ со сферическим нейтральным детектором на коллайдере ВЭПП-2М. // Письма в ЖЭТФ. - 2010. - Т.92. - N2. - С.84-88; JETP Letters. - 2010. - Vol.92. - N2. - P80-84.
- [31] Киселев В.А., Смалюк В.В. Экспериментальное изучение импедансов связи электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-4М. // ЖТФ. - 2010. - Т.80. - N8. - С.101-108; JTP. - 2010. - Vol.55. - N8. - P.1175-1182.
- [32] Пальчиков Е.И., Кондратьев В.И., Голиков Е.В., Черемисин А.Н. Экспериментальное исследование регистратора BaFBr: Eu IMAGE PLATE в зависимости от дозы, спектра импульсного рентгеновского источника и числа сканирований. // Поверхность. - 2010. - N8. - С.5-12.
- [33] Валеев Р.Г., Деев А.Н., Романов Э.А., Кривенцов В.В., Бельтюков А.Н., Мезенцев Н.А., Елисеев А.А., Напольский К.С. Синтез и исследование структуры упорядоченных массивов наноточек ZnSe. // Поверхность. - 2010. - N8. - С.31-34.
- [34] Иванов В.Ю., Пустоваров В.А., Кружалов А.В., Таусенев Д.С., Зинин Э.И. Времяразрешенная спектроскопия природных и синтетических кристаллов BeO. // Поверхность. - 2010. - N8. - С.58-61.
- [35] Кузнецов С.А., Аржанников А.В., Гельфанд А.В., Зоренко А.В., Горшунов Б.П. Многоканальная радиометрическая система для регистрации субмиллиметрового излучения при пучково-плазменном взаимодействии. // Вестник НГУ. Сер.: физика. - 2010. - Т.5. - N3. - С.5-19.
- [36] Брызгунов М.И., Бублей А.В., Востриков В.А., Панасюк В.М., Пархомчук В.В., Рева В.Б. Компактный накопитель протонов с продольным магнитным полем и электронным охлаждением. // Вестник НГУ. Сер.: физика. - 2010. - Т.5. - N3. - С.79-89.
- [37] Цидулко Ю.А., Черноштанов И.С. Нелинейная стадия альфвеновской ионно-циклотронной неустойчивости. // Вестник НГУ. Сер. физика. - 2010. - Т.5. - N3. - С.90-94.
- [38] Батраков А.М., Логачёв П.В., Павленко А.В., Сазанский В.Я., Фатькин Г.А. Система автоматизации линейного индукционного ускорителя рентгенографического комплекса. // Вестник НГУ. Сер.: физика. - 2010. - Т.5. - N3. - С.98-105.
- [39] Куксанов Н.К., Немытов П.И., Голубенко Ю.И. Малогабаритный роторный вольтметр, используемый в системах измерения и стабилизации ускоряющего напряжения промышленных ускорителей электронов. // Вестник НГУ. Сер.: физика. - 2010. - Т.5. - N3. - С.95-97.
- [40] Лотов К.В., Маслов В.И., Онищенко И.Н. Коэффициент трансформации в кильватерном методе ускорения для последовательности релятивистских электронных сгустков в плазме. // ВАНТ. Сер.: плазм. эл-ка и новые методы ускорения. - 2010. - N4. - С.85-89.
- [41] Дарьин А.В., Ракшун Я.В. Сканирующий рентгенофлуоресцентный микроанализ природных образцов с использованием синхротронного излучения (СИ) из накопителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН и фокусирующей рентгеновской оптики. // Школа молодых специалистов "Синхротронное излучение в науках о Земле", Новосибирск, 11-15 окт. 2010: сб. лекций. - Новосибирск: ИЯФ им. Г.И.Будкера, 2010. - С.8-15 (СЦСТИ: 3-я Школа молодых специалистов "Синхротронное излучение в современных технологиях").
- [42] Золотарев К. Основы рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), особенности РФА с использованием синхротронного излучения (СИ). РФА в мировых центрах СИ. // Школа молодых специалистов "Синхротронное излучение в науках о Земле", Новосибирск, 11-15 окт. 2010: сб. лекций. - Новосибирск: ИЯФ им. Г.И.Будкера, 2010. - С.16-20 (СЦСТИ: 3-я Школа молодых специалистов "Синхротронное излучение в современных технологиях").
- [43] Кулипанов Г.Н. Синхротронное излучение: генерация и применение. // Школа молодых специалистов "Синхротронное излучение в науках о Земле", Новосибирск, 11-15 окт. 2010: сб. лекций. - Новосибирск: ИЯФ им. Г.И.Будкера, 2010. - С.28-49 (СЦСТИ: 3-я Школа Молодых специалистов "Синхротронное излучение в современных технологиях").

- [44] Купер К.Э. Методы рентгеновской микроскопии и микротомографии с использованием синхротронного излучения. // Школа молодых специалистов "Синхротронное излучение в науках о Земле", Новосибирск, 11-15 окт. 2010: сб. лекций. - Новосибирск: ИЯФ им. Г.И.Будкера, 2010. - С.50-53 (СЦСТИ: 3-я Школа Молодых специалистов "Синхротронное излучение в современных технологиях").
- [45] Мезенцев Н.А. Источник СИ на сверхпроводящих магнитах. // Школа молодых специалистов "Синхротронное излучение в науках о Земле", Новосибирск, 11-15 окт. 2010: сб. лекций. - Новосибирск: ИЯФ им. Г.И.Будкера, 2010. - С.81-85 (СЦСТИ: 3-я Школа Молодых специалистов "Синхротронное излучение в современных технологиях").
- [46] Николенко А.Д. Космическая погода. Исследование солнечной активности в диапазоне от 10 до 2000 эВ. Дистанционное зондирование. // Школа молодых специалистов "Синхротронное излучение в науках о Земле", Новосибирск, 11-15 окт. 2010: сб. лекций. - Новосибирск: ИЯФ им. Г.И.Будкера, 2010. - С.86-89.
- [47] Владимиров В.М., Запрягаев И.А., Коннов В.Г., Куркин Г.Я., Тарнецкий В.В., Чернов К.Н. Малошумящий источник С.В.Ч.-сигналов. // ПТЭ. - 2010. - N5. С.93-94.
- [48] Баткин В.И. Заряды на поверхности чечевичной полости в двумерном однородном проводнике. // ЖТФ. - 2010. - Т.80. - N9. - С.154-155.
- [49] Авдеева Е.Г., Богданчиков А.Г., Ботов А.А., Букин Д.А., Васильев А.В., Весенев В.М., Голубев В.Б., Димова Т.В., Дружинин В.П., Король А.А., Кошуба С.В., Образовский А.Е., Пахтусова Е.В., Середняков С.И., Сироткин А.А., Сурин И.К., Усов Ю.В., Филатов П.В., Харламов А.Г. Новая трековая система детектора СНД. // ЯФ. - 2010. - Т.73. - N11. - С.1983-1986.
- [50] Гилёв О.Н., Вихляев Д.А., Легкодымов А.А., Николенко А.Д. Абсолютная калибровка рентгенооптических элементов и детекторов на длине волны 46.9 нм. // ПТЭ. - 2010. - N6. - С.107-110.
- [51] Баянов Б.Ф., Кандиев Я.З., Кашаев Е.А., Малышкин Г.Н., Таскаев С.Ю., Чудаев В.Я. Защитный заглубленный контейнер для выдержки и временного хранения активированных мишеней. // ПТЭ. - 2010. - N6. - С.117-120.
- [52] Герасимов В.В., Князев Б.А., Никитин А.К., Никитин В.В. Способ индикации дифракционных спутников поверхностных плазмонов терагерцового диапазона. // ЖТФ. Письма. - 2010. - Т.36. - N21. - С.93-101.
- [53] Герасимов В.В., Жижин Г.Н., Князев Б.А., Никитин А.К. Возбуждение поверхностных плазмонов терагерцового диапазона методом нарушенного полного внутреннего отражения через подложку. // Физическая оптика. - 2010. - Т.77. - N8. - С.3.
- [54] Ачасов М.Н., Белобородов К.И., Бердюгин А.В., Богданчиков А.Г., Букин Д.А., Васильев А.В., Голубев В.Б., Димова Т.В., Дружинин В.П., Кооп И.А., Король А.А., Кошуба С.В., Пахтусова Е.В., Середняков С.И., Силагадзе З.К., Скринский А.Н., Шатунов Ю.М. Поиск процесса  $e^+e^- \rightarrow K^+K^- \pi^0$  в экспериментах со сферическим нейтральным детектором на ВЭПП-2М. // ЖЭТФ. - 2010. - Т.137. - N1. - С.33-40; JETP. 2010. - Vol.110. - N1. - P.26-33.
- [55] Онучин А.П. Экспериментальные методы ядерной физики: учеб. пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2010. - 219с. - Библиогр.: в конце глав назв. - (Сер. "Учебники НГТУ"; парал. тит. л. на англ. яз.).
- [56] Левичев Е.Б. Лекции по нелинейной динамике частиц в циклическом ускорителе: учеб. пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2010. - 222 с. - Библиогр.: в конце глав назв. - (Сер. "Учебники НГТУ"; парал. тит. л. на англ. яз.).
- [57] Диканский Н.С., Пестриков Д.В. Затухание Ландау и расфазировки когерентных колебаний пучков в накопителях. // Учеб. пособие. - Новосибирск: НГУ, 2010. - 82с.
- [58] Беликов О.В., Веремеенко В.Ф., Чупыра А.Г. Основы радиоэлектроники, // Учеб. пособие. - Новосибирск: НГУ, 2010. - 112с.
- [59] Kwan T.J.T., Morgado R.E., Wang Tai-Sen.F., Vodolaga B., Terekhin V., Onischenko L.M., Samsonov E.V., Vorozhtsov A.S., Alenitsky Yu.G., Perpelkin E.E., Glazov A.A., Novikov D.L., Parkhomchuk



- V., Reva V., Vostrikov V., Mashinin V.A., Fedotov S.N., Minayev S.A. The development of enabling technologies for producing active interrogation beams. // RSI. - 2010. - Vol.81. - N10. - P.103304-1-13.
- [60] Khrebtov I.A., Malyarov V.G., Zerov V.Yu., Nicolenco A.D., Pindyurin V.F., Legkodymov A.A., Lyah V.V. Test of model of absolute measuring instrument of synchrotron radiation power. // Key Engineering Materials. - 2010. - Vol.437. - P.636-640.
- [61] Fadin V.S., Fiore R., Grabovsky A.V. Matching of the low-x evolution kernels. // Nucl. Phys. B. - 2010. - Vol.831. - N1/2. - P.248-261; JETP. - 2010. - Vol.110. - P.383-405.
- [62] Chernyak V.L. Mass spectrum in supersymmetric QCD and problems with the Seiberg duality. Equal quark masses. // ЖЭТФ. - 2010. - Vol.137. - N3. - C.437-459; JETP. - 2010. - Vol.91. - N5/6. - P.383-405.
- [63] Chernyak V.L. A three-loop check of the "a-maximization" in SQCD with adjoint(s). // Письма в ЖЭТФ. - 2010. - Vol.91. - N5/6. - C.237-239; JETP. - 2010. - Vol.91. - N5/6. - P.219-221.
- [64] Evsyukova M.A., Yalovega G., Balerna A., Menushenkov A.P., Rakshun Ya.V., Teplov A.A., Mikheeva M.N., Soldatov A.V. Crystal-quasicrystal transition in the Al-Cu-Fe system: Analysis of the local atomic structure. // Physica Condensed Matter B. - 2010. - Vol.405. - N8. - P.2122-2124.
- [65] Aubert B., BABAR Collab., Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. Searches for lepton flavor violation in the decays  $\tau^{+-} \rightarrow e^{+-} \gamma$  and  $\tau^{+-} \rightarrow \mu^{+-} \gamma$ . // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.104. - N2. - P.021802-1-7; [arXiv:0908.2381 [hep-ex]].
- [66] Uehara S., Belle Collab., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Kuzmin A., Shwartz B., Zyukova O., et al. Observation of a Charmoniumlike enhancement in the  $\gamma\gamma \rightarrow \omega J/\psi$  process. // Phys. Rev. Lett. - 2010. Vol.104. - N9. - P.092001-1-6.
- [67] Urquijo P., Belle Collab., Arinstein K., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Shwartz B., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. Measurement of  $|V_{ub}|$  from inclusive charmless semileptonic B decays. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.104. - N2. - P.021801-1-5.
- [68] Shen C.P., Belle Collab., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Shwartz B., Zyukova O., et al. Evidence for a new resonance and search for the  $Y(4140)$  in the  $\gamma\gamma \rightarrow \phi J/\psi$  process. // Phys. Rev. Lett. - 2010. Vol.104. - N11. - P.112004-1-5.
- [69] Aubert B., BABAR Collab., Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. Measurement of  $|V_{cb}|$  and the form-factor slope in anti B  $\rightarrow D_l^-$  anti  $v_l$  decays in events tagged by a fully reconstructed B meson. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.104. - N1. - P.011802-1-7.
- [70] Vladimir Nikolaevich Baier 1930-2010. // CERN Courier. - 2010. - Vol.50. - N3. - C.33, photo.
- [71] Sanchez P. del Amo., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Test of lepton universality in  $Y(1S)$  decays at BABAR. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.104. - N19. - P.191801-1-7; [E-print: arXiv:1002.4358 [hep-ex]].
- [72] Fujikawa M., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Shebalin V., Sokolov A., Usov Y., Vinokurova A., et al. Measurement of CP asymmetries in  $B^0 \rightarrow K^0 \pi^0$  decays. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.81. - N1. - P.011101-1-7.
- [73] Aushev T., Belle Collab., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Shwartz B., Usov Y., Zhulanov V., Zyukova O., et al. Study of the  $B \rightarrow X(3872) \rightarrow (D^* D^0) K$  decays. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.81. - N3. - P.031103-1-7.
- [74] Joshi N.J., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Poluektov A., Shwartz B., Usov Y., Zhilich V., Zyukova O., et al. Measurement of the branching fractions for  $B^0 \rightarrow D_s^{*+} \pi^-$  and  $B^0 \rightarrow D_s^{*-} K^+$  decays. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.81. - N3. - P.031101-1-6.
- [75] Petric M., Belle Collab., Arinstein K., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Zhulanov V., et al. Search for leptonic decays of  $D^0$  mesons. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.81. - N9. - P.091102-1-6.

- [76] Aubert B., BABAR Collab., Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. Observation of inclusive  $D^{*\pm}$  production in the decay of  $Y(1S)$ . // *Phys. Rev. D*. - 2010. - Vol.81. - N1. - P.011102-1-8.
- [77] Aubert B., BABAR Collab., Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. Observation of the  $\chi_{c2}/(2P)$  meson in the reaction  $\gamma\gamma \rightarrow D$  anti  $D$  at BABAR. // *Phys. Rev. D*. - 2010. - Vol.81. - N9. - P.092003-1-16; [E-print: arXiv:1002.0281 [hep-ex]].
- [78] Achasov M.N., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Bogdanchikov A.G., Bukin A.D., Bukin D.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Koop I.A., Korol A.A., Koshuba S.V., Lysenko A.P., Pakhtusova E.V., Serednyakov S.I., Shatunov Yu.M., Silagadze Z.K., Skrinsky A.N., Vasiljev A.V. Search for lepton flavor violation process  $e^+e^- \rightarrow e\mu$  in the energy region radical  $\sqrt{s} = 984-1060$  MeV and  $\phi \rightarrow e\mu$  decay. // *Physical Review D*. - 2010. - Vol.81. - N5. - P.057102-1-4.
- [79] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Search for charged lepton flavor violation in narrow  $Y$  decays. // *Phys. Rev. Lett.* - 2010. - Vol.104. - N15. - P.151802-1-7; [E-print: arXiv:1001.1883 [hep-ex]].
- [80] Aubert B., BABAR Collab., Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. Measurement and interpretation of moments in inclusive semileptonic decays anti  $B \rightarrow X_c$  l- anti  $\nu$ . // *Phys. Rev. D*. - 2010. - Vol.81. - N3. - P.032003-1-25.
- [81] Khriplovich I.B. Strict upper limits on electric dipole moment of W boson. // *ЯФ*. - 2010. - Vol.73. - N4. - C.660-661.
- [82] Knyazev B.A., Kulipanov G.N., Vinokurov N.A. Novosibirsk terahertz free electron laser: instrumentation development and experimental achievements. // *Measurement Science and Technology*. - 2010. - Vol.21. - N5. - P.054017-1-29.
- [83] Ko B.R., Belle Collab., Aulchenko V., Eidelman S., Pakhlov P., Pakhlova G., Shebalin V., Sokolov A., Zhilich V., Zyukova O., et al. Search for CP violation in the decays  $D^+_{(s)} \rightarrow K_S^0 \pi^+$  and  $D^+_{(s)} \rightarrow K_S^0 K^+$ . // *Phys. Rev. Lett.* 2010. - Vol.104. - N18. - P.181602-1-6.
- [84] Chiang C. - C., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Sokolov A., Usov Y., Zyukova O., et al. Search for  $B^0 \rightarrow K^{*0}$  anti- $K^{*0}$ ,  $B^0 \rightarrow K^{*0} K^{*0}$  and  $B^0 \rightarrow K^+ \pi^- K^{\pm} \pi$  decays. // *Phys. Rev. D*. - 2010. - Vol.81. - N7. - P.071101-1-7.
- [85] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu, et al. Branching fraction measurements of  $\chi_{c0}/\chi_{c2}$  to  $\pi^0 \pi^0$  and  $\eta \eta$ . // *Phys. Rev. D*. - 2010. - Vol.81. - N5. - P.052005-1-8.
- [86] Aubert B., BABAR Collab., Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. Measurement of branching fractions of B decays to  $K_1(1270)\pi$  and  $K_1(1400)\pi$  and determination of the CKM angle  $\alpha$  from  $B^0 \rightarrow a_1(1260)^+ \pi^-$ . // *Phys. Rev. D*. - 2010. - Vol.81. - N5. - P.052009-1-16.
- [87] Aubert B., BABAR Collab., Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. Search for  $B^+ \rightarrow l^+ \nu_{l'} /$  recoiling against  $B^- \rightarrow D^0 l^-$  anti  $\nu_X$ . // *Phys. Rev. D*. - 2010. - Vol.81. - N5. - P.051101-1-9.
- [88] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., et al. Measurements of  $h_c^1$  ( $^1P_1$ ) in  $\psi'$  decays. // *Phys. Rev. Lett.* - 2010. - Vol.104. - N13. - P.132002-1-6.
- [89] Ivanov A.A., Beklemishev A.D., Kruglyakov E.P., Bagryansky P.A., Lizunov A.A., Maximov V.V., Murakhtin S.V., Prikhodko V.V. Results of recent experiments on GDT device after upgrade of heating neutral beams. // *Fusion Science and Technology*. - 2010. - Vol.57. - N4. - P.320-325.
- [90] Beklemishev A.D., Bagryansky P.A., Chaschin M.S., Soldatkina E.I. Vortex confinement of plasmas in symmetric mirror traps. // *Fusion Science and Technology*. - May 2010. - Vol.57. - N4. - P.351-360.

- [91] Molvik A., Ivanov A., Kulcinski G.L., Ryutov D., Santarius J., Simonen T., Wirth B.D., Ying A.A. GAS dynamic trap neutron source for fusion material and subcomponent testing. // *Fusion Science and Technology*. - 2010. Vol.57. - N4. - P.369-394.
- [92] Zobov M., Alesini D., Biagini M.E., Biscari C., Bocci A., Boni R., Boscolo M., Bossi F., Buonomo B., Clozza A., Delle Monache G.O., Demma T., Di Pasquale E., Di Pirro G., Drago A., Gallo A., Ghigo A., Guiducci S., Ligi C., Marcellini F., Mazzitelli G., Milardi C., Murtas F., Pellegrino L., Preger M.A., Quintieri L., Raimondi P., Ricci R., Rotundo U., Sanelli C, Serio M., Sgamma F., Spataro B., Stecchi A., Stella A., Tomassini S., Vaccarezza C., Schioppa M., Esposito M., Branchini P., Iacoangeli F., Valente P., Levichev E., Piminov P., Shatilov D., Smaluk V, et al. Test of "Crab-Waist" collisions at the DAFNE  $\Phi$  factory. // *Phys. Rev. Lett.* - 2010. - Vol.104. - N17. - P.174801-1-5.
- [93] Khriplovich I.B., Lamoreaux S.K., Sushkov A.O., Sushkov O.P. Comment on "Rovibrational quantum interferometers and gravitation nal waves". // *Phys. Rev. A*. - 2010. - Vol.81. - N6. - P.067601-1-3.
- [94] Avilov M.S., Tecchio L.B., Titov A.T., Tsybulya V.S., Zhmurikov E.I. Design of the 50 kW neutron converter for SPIRAL2 facility. // *NIM. A*. - 2010. - Vol.618. - N1-3. - P.1-15.
- [95] Actis S., Arbuzov A., Balossini G., Beltrame P., Bignamini C., Bonciani R., Carloni Calame C.M., Cherepanov V., Czakov M., Czyz H., Denig A., Eidelman S., Fedotovich G.V., Ferrogli A., Gluza J., Grzelinska A., Gunia M., Hafner A., Ignatov F., Jadach S., Jegerlehner F., Kalinowski A., Kluge W., Korchin A., Kuhn J.H., Kuraev E.A., Lukin P., Mastrolia P., Montagna G., Muller S.E., Nguyen F., Nicrosini O., Nomura D., Pakhlova G., Pancheri G., Passera M., Penin A., Piccinini F., Placzek W., Przedzinski T., Remiddi E., Riemann T., Rodrigo G., Roig P., Shekhovtsova O., Shen C.P., Sibidanov A.L., Teubner T., Trentadue L., Venanzoni G., Van der Bij J.J., Wang P., Ward B.F.L., Was Z., Worek M., Yuan C.Z. Quest for precision in hadronic cross sections at low energy: Monte Carlo tools vs. experimental data. // *Eur. Phys. Journal. C*. - 2010. - Vol.66. - N3/4. - P.585-686; [E-print: arXiv:0912.0749 [hp-ph]].
- [96] Aamodt K., The ALICE Collab., Frolov A., Pestov Y, et al. First proton-proton collisions at the LHC as observed with the ALICE detector: measurement of the charged-particle pseudorapidity density at  $\sqrt{s} = 900$  GeV. // *Eur. Phys. Journal. C*. - 2010. - Vol.65. - N1/2. - C.111-125.
- [97] Zhang X.L., Shiltsev V., Valishev A., Kamerdzhev V., FZ-Julich, Romanov A. Tevatron electron lens and it's applications. // *Proc. of Workshop on Beam Cooling and Related topics 2009, Aug.31 - Sept.4, 2009, Lanzhou, P.R.China / Ed. by Y. Yuan, X. Yang. - Lanzhou: Atomic Energy Press, 2010. - P.103-106.*
- [98] Bryzgunov M.I., Panasyuk V.M., Reva V.B. Calculation of electron beam motion in electron cooling system for COSY. // *Proc. of Workshop on Beam Cooling and Related topics 2009, Aug.31 - Sept.4, 2009, Lanzhou, P.R.China / Ed. by Y. Yuan, X. Yang. - Lanzhou: Atomic Energy Press, 2010. - P.134-137.*
- [99] Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Bublely A.V., Panasyuk V.M. Electron cooling for the therapy accelerator complex. // *Proc. of Workshop on Beam Cooling and Related topics 2009, Aug.31 - Sept.4, 2009, Lanzhou, P.R.China / Ed. by Y. Yuan, X. Yang. - Lanzhou: Atomic Energy Press, 2010. - P.168-172.*
- [100] Yang X.D., Mao L.J., Li G.H., Ma X.M., Yan T.L., Yuan Y.J., Song M.T., Yang J.C., Liu Y., Zhao T.C., Xia J.W., Zhang W., Gao D.Q., Zhou Z.Z., Yan H.B., Mao R.S., Han S.F., Zheng J.H., Yang X.T., Zhao H.W., Xiao C., Yin D.Y., Li P., Jia H., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Skorobogatov D.N. Commissioning of electron cooling in CSRe. // *Proc. of Workshop on Beam Cooling and Related topics 2009, Aug.31 - Sept.4, 2009, Lanzhou, P.R.China / Ed. By Y. Yuan, X. Yang. - Lanzhou: Atomic Energy Press, 2010. - P.173-177.*
- [101] Dietrich J., Kamerdzhev V., Juelich F.Z.J, Bryzgunov M.I., Goncharov A.D., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Skorobogatov D.N. Status of the 2 MEV electron cooler for COSY Juelich. // *Proc. of Workshop on Beam Cooling and Related topics 2009, Aug.31 - Sept.4, 2009, Lanzhou, P.R.China / Ed. by Y. Yuan, X. Yang. - Lanzhou: Atomic Energy Press, 2010. - P.178-180.*
- [102] Aamodt K., Belikov I., Frolov A., Gorbunov S., Gorbunov Y., Grigoriev V., Ivanov A., Ivanov M., Ivanov V., Kaplin V., Kiselev S., Nikolaev S., Pestov Yu., Vasiliev A., et al. (ALICE Collab.).

- Charget-particle multiplicity measurement in proton-proton collisions at radical  $\sqrt{s} = 0.9$  and 2.36 TeV with ALICE at LHC. // *The Eur. Phys. J. C.* - 2010. - Vol.68, N1/2. - P.89-108.
- [103] Kuznetsov S.A., Arzhannikov A.V., Kubarev V.V., Kalinin P.V., Sorolla M., Navarro-Cia M., Aznabet M., Beruete M., Falcone F., Goncharov Yu.G., Gorshunov B.P., Gelfand A.V., Fedorina N.I. Development and characterization of quasi-optical mesh filters and metastructures for subterahertz and terahertz applications. // *Key engineering materials.* - 2010. - Vol.437. - P.276-280.
- [104] Shen C.P., Belle Collab., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Shwartz B., Zhulanov V., Zyukova O, et al. Search for charmonium and charmoniumlike states in  $Y(1S)$  radiative decays. // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.82. - N5. - P.051504-1-6.
- [105] Das A., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O, et al. Measurements of branching fractions for  $B^0 \rightarrow D_s^+ \pi^-$  and  $\text{anti-}B^0 \rightarrow D_s^+ K^-$ . // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.82. - N5. - P.051103-1-7.
- [106] Sanchez P. del Amo., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N, et al. Measurement of CP observables in  $B^+ \rightarrow D_{CP}^+ K^-$  decays and constraints on the CKM angle  $\gamma$ . // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.82. - N7. - P.072004-1-20; [E-print: arXiv:1007.0504 [hep-ex]].
- [107] Sanchez P. del Amo., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N, et al. Search for  $b \rightarrow u$  transitions in  $B^- \rightarrow DK^-$  and  $D^* K^-$  decays. // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.82. - N7. - P.072006-1-18; [E-print: arXiv:1006.4241 [hep-ex]].
- [108] Sanchez P. del Amo., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N, et al. Evidence for the decay  $X(3872) \rightarrow J\psi\omega$ . // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.82. - N1. - P.011101-1-8; [E-print: arXiv:1005.5190 [hep-ex]].
- [109] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N, et al. Limits on tau lepton-flavor violating decays into three charged leptons. // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.81. - N11. - P.111101-1-8; [E-print: arXiv:1002.4550 [hep-ex]].
- [110] Sanchez P. del Amo., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N, et al. Search for CP violation using T-odd correlations in  $D^0 \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^-$  decays. // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.81. - N11. - P.111103-1-8; [E-print: arXiv:1003.3397 [hep-ex]].
- [111] Wedd R., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O, et al. Evidence for  $B \rightarrow K\eta'\gamma$  decays at Belle. // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.81. - N11. - P.111104-1-7.
- [112] Sanchez P. del Amo., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N, et al. Observation of the rare decay  $B^0 \rightarrow K^0 K^+ \pi^-$ . // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.82. - N3. - P.031101-1-8; [E-print: arXiv:1003.0640 [hep-ex]].
- [113] Drutskoy A., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Poluektov A., Shwartz B., Usov Y., Zhulanov V, et al. Measurement of  $Y(5S)$  decays to  $B^0$  and  $B^+$  mesons. // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.81. - N11. - P.112003-1-7.
- [114] Aubert B., BABAR Collab., Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu, et al. Observation of the decay  $\text{anti-}B^0 \rightarrow \Lambda_c^+ \text{anti-}p \pi^0$ . // *Phys. Rev. D.* - 2010. - Vol.82. - N3. - P.031102-1-8; [E-print: arXiv:1007.1370 [hep-ex]].
- [115] Lee M.J., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zhyukova V, et al. Measurement of the branching fractions and the invariant mass



- distributions for  $\tau \rightarrow h^+ h^+ h^- \nu_\tau$  decays. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.81. - N11. - P.113007-1-13.
- [116] Sanchez P. del Amo., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Exclusive production of  $D_s^+ D_s^-$ ,  $D_s^{*+} D_s^-$ , and  $D_s^{*+} D_s^{*-}$  via  $e^+e^-$  annihilation with initial-state radiation. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - N5. - P.052004-1-10; [E-print: arXiv:1008.0338 [hep-ex]].
- [117] Bozek A., Belle Collab., Arinstein K., Aulchenko V., Eidelman S., Shwartz B., Zhulanov V., et al. Observation of  $B^+ \rightarrow \text{anti-}D^{*0} \tau^+ \nu_\tau$  and evidence for  $B^+ \rightarrow \text{anti-}D^0 \tau^+ \nu_\tau$  at Belle. // Phys.Rev.D. - 2010. - Vol.82. - N7. - P.072005-1-6.
- [118] Poluektov A., Belle Collab., Bondar A., Arinstein K., Aulchenko V., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Usov Y., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. Evidence for direct CP violation in the decay  $B \rightarrow D^{(*)} K$ ,  $D \rightarrow K_s \pi^+ \pi^-$  and measurement of the CKM phase  $\phi_3$ . // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.81. - N11. - P.112002-1-12.
- [119] Anisyonkov A., Klimentov A., Krivashin D., Titov M., et al. (ATLAS Collab.). ATLAS distributed computing. // Proc. of NEC 2009 Conference. - Dubna: JINR, 2010. - P.45-48.
- [120] Talyshev A., et al. (ATLAS Collab.). Commissioning of the ATLAS liquid argon calorimeter. // Proc. of NEC 2009 Conference. - Dubna: JINR, 2010. - P.265-272.
- [121] Milstein A.I., Terekhov I.S. Induced charge generated by a potential well in graphene. // Phys. Rev. B. - 2010. - Vol.81. - N12. - P. 125419-1-5.
- [122] Di Piazza A., Milstein A.I. High-energy electron-positron photoproduction cross section close to the end of the spectrum. // Phys. Rev. B. - 2010. - Vol.82. - N4. - P. 042106-1-9; arXiv:1003.5816 [physics.acc-ph].
- [123] Kumar N., Pukhov A., Lotov K. Self-modulation instability of a long proton bunch in plasmas. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.104. - N25. - P.255003-1-4.
- [124] Louvot R., Belle Collab. Arinstein K., Eidelman S., Poluektov A., Shebalin V., Zyukova O., et al. Observation of  $B^0 \rightarrow D^0 \pi^+ \pi^-$ ,  $B^0 \rightarrow D^0 \rho^+ \rho^-$ ,  $B^0 \rightarrow D^0 \pi^+ \rho^-$  and measurement of the  $B^0 \rightarrow D^0 \pi^+ \rho^-$  longitudinal polarization fraction. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.104. - N23. - P.231801-1-6.
- [125] Sakai K., Belle Collab., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Kuzmin A., Shwartz B., Zyukova O., et al. Search for CP-violating charge asymmetry in  $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$  decays. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - N9. - P.091104-1-7.
- [126] Aubert B., BABAR Collab. Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., et al. Correlated leading baryon-antibaryon production in  $e^+e^- \rightarrow c \text{ anti-}c \rightarrow \Lambda_c^+ \text{ anti-} \Lambda_c^- X$ . // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - N9. - P.091102-1-8; [E-print: arXiv:1006.2216 [hep-ex]].
- [127] Sanchez P. del Amo., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Search for  $B^+ \rightarrow D^+ K^0$  and  $B^+ \rightarrow D^+ K^{*0}$  decays. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - N9. - P.092006-1-11 [E-print: arXiv:1005.0068 [hep-ex]].
- [128] Sanchez P. del Amo., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Search for  $B^+$  meson decay to  $\alpha_1^+(1260) K^{*0}(892)$ . // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - N9. - P.091101-1-8.
- [129] Sanchez P. del Amo., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. Observation of new resonances decaying to  $D\pi$  and  $D^*\pi$  in inclusive  $e^+e^-$  collisions near radical  $\sqrt{s} = 10.58$  GeV. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - N11. - P. 111101-1-9; [E-print: arXiv:1009.2076 [hep-ex]].
- [130] Dudnikov V., Chapovsky P., Dudnikov A. Cesium control and diagnostics in surface plasma negative ion sources. // RSI. - 2010. - Vol.81. - N2. - P.02A714-1-3.



- [131] Listopad A.A., Coenen J.W., Davydenko V.I., Deichuli P.P., Ivanov A.A., Mishagin V.V., Savkin V.Ya., Schalt W., Schweer B., Shulzhenko G.I., Stupishin N.V., Uhlemann R. Operation and upgrade of diagnostic neutral beam injector RUDI at TEXTOR tokamak. // RSI. - 2010. - Vol.81. - N2. - P.02B104-1-3.
- [132] Sorokin A., Belov V., Davydenko V., Deichuli P., Podyminogin A., Shikhovtsev I., Shulzhenko G., Stupishin N., Tiunov M. Characterization of 1 MW, 40 keV, 1 s neutral beam for plasma heating. // RSI. - 2010. - Vol.81. - N2. - P.02B108-1-4.
- [133] Aamodt K., (ALICE COLLAB.), Belikov I., Frolov A., Gorbunov S., Gorbunov Y., Grigoriev V., Ivanov A., Ivanov M., Ivanov V., Kaplin V., Kiselev S., Nikolaev S., Pestov Yu., Vasiliev A., et al. Charged-particle multiplicity measurement in proton-proton collisions at radical  $s = 7$  TeV with ALICE at LHC. // Eur. Phys. J. C. - 2010. - Vol.68. - N3/4. - P.345-354.
- [134] Amelino-Camelia G., Eidelman S., Fedotov G.V., Lukin P, et al. Physics with the KLOE-2 experiment at the upgraded DAFNE. // Eur. Phys. J.C. - 2010. -Vol.68. - N3/4. - P.619-681; [E-print: arXiv: 1003.3868 [hep-ph]].
- [135] Fadin V.S., Fiore R., Grabovsky A.V., Papa A. Low-x evolution equations in Möbius representation. // Физика ЭЧАЯ. - 2010. - Vol.41. - N6. - P.1742-1748; Physics of Particles and Nuclei. - 2010. - Vol.41. - N6. - P.935-938.
- [136] Fadin V.S. Möbius representation of the BFKL kernel. // In: Subtleties in Quantum Field Theory. / Ed. D.Diakonov, Gatchina, 2010.
- [137] Ioffe B.L., Fadin V.S., Lipatov L.N. Quantum Chromodynamics: Perturbative and Nonperturbative aspects. // Cambridge University Press, 2010.
- [138] Dmitriev V.F., Milstein A.I., Salnikov S.G. Spin-dependent part of  $p\bar{p}$  interaction cross section and Nijmegen potential. // Physics Letters B. - 2010. - Vol.690. - N4. - P.427.
- [139] Di Piazza A., Lotstedt E., Milstein A.I., Keitel C.H. Effect of a strong laser field on  $e+e$ -photoproduction by relativistic nuclei. // Phys. Rev. A. - 2010. - V.81. - N6. - P.062122.
- [140] Di Piazza A., Milstein A.I., and Müller C. Polarization of the electron and positron produced in combined Coulomb and strong laser fields. // Phys. Rev. A. - 2010. - V.82. - P.062110.
- [141] Bekavac S., Grozin A.G., Marquard P. Matching QCD and HQET heavy-light currents at three loops. // Nucl. Phys. B. - 2010. - V.833. - N1-2. - P.46-63.
- [142] Grozin A.G. Matching heavy-quark fields in QCD and HQET at three loops. // Phys. Lett. B. - 2010. - V.692. - P.161-165.
- [143] Grozin A.G. Matching QCD and HQET at three loops. // Nucl. Phys. B. (Proc. Suppl.).- 205-206. - (2010). - P.301-307.
- [144] Chernyak V.L. On mass spectrum in SQCD. Unequal quark masses. // ЖЭТФ. - 2010. -Т.138. - N6(12). - C.1076-1087; JETP. - 2010. - Vol.111. - P.949-961.
- [145] Chernyak V.L. Exclusive  $\gamma\gamma$  processes. // Chinese Physics C. - 2010. Vol. 34. - N6. - P.822-830.
- [146] Sokolov Valentin V. Electron Quantum Transport Through a Mesoscopic Device: Dephasing and Absorption Induced by Interaction with a Complicated Background. // World Scientific. - 2010. - P.309-319.
- [147] Sokolov Valentin V. Ballistic electron Quantum transport in a presence of a disordered background. // J. Phys. A: Math. Theor. - 2010. - V.43. - P.265102.
- [148] Kharkov Ya.A., Sokolov V.V., and Zhironov O.V. Quantum chaos versus noisy environment. // J. Sib. Fed. Univ. Math. Phys. - 2010. - Vol.3. - N3, P.303-310.
- [149] Rudenko A.S., Khriplovich I.B. Can CP-violation be observed in heavy-ion collisions? // Canadian Journal of Physics. - 2010. - V.89. - P.63.
- [150] Berengut J.C., Dmitriev V.F., Flambaum V.V. Effect of quark-mass variation on big bang nucleosynthesis. // Phys. Lett. B. - 2010. - Vol.683. - N2-3. - P.114.

- [151] Shepelyansky D.L., Zhiron O.V. Google matrix, dynamical attractors and Ulam networks. // Phys. Rev. E. - 2010. - Vol.81. - N3, Part2. - P.036213.
- [152] Shepelyansky D.L., Zhiron O.V. Towards Google matrix of brain. // Phys. Lett. A. - 2010. - Vol. A374. - P.3206; [E-print: arXiv:1002.4583v2 [cond-mat.dis-nn]] (2010).
- [153] Lee R.N. Space-time dimensionality  $\mathcal{D}$  as complex variable: Calculating loop integrals using dimensional recurrence relation and analytical properties with respect to  $\mathcal{D}$ . // Nucl. Phys. B. - 2010. - Vol.830. - N3. - P.474-492.
- [154] Lee R.N., Smirnov A.V., Smirnov V.A. Analytic results for massless three-loop form factors. // JHEP. - Apr 2010. - N4. - P.020.
- [155] Lee R.N., Smirnov A.V., Smirnov V.A. Dimensional recurrence relations: an easy way to evaluate higher orders of expansion in  $\epsilon$  Nucl. Phys. Proc. Suppl. 205-206 (2010) 308-313.
- [156] Lee R.N. Calculating multiloop integrals using dimensional recurrence relation and  $\mathcal{D}$ -analyticity. // Nucl. Phys. Proc. Suppl. 205-206 (2010) 135-140.
- [157] Baier V.N., Katkov V.M. Pair creation by a photon in an electric field. // Phys. Lett. A. - 2010. - Vol.374. - N22. - P.2201-2206.
- [158] Khatsymovsky V.M. Integration over connections in the discretized gravitational functional integrals. // Mod. Phys. Lett. A. - 2010. - Vol. 25. - N5. - P.351-368.
- [159] Khatsymovsky V.M. Defining integrals over connections in the discretized gravitational functional integrals. // Mod. Phys. Lett. A. - 2010. - Vol. 25. - N17. - P.1407-1423.
- [160] Khatsymovsky V.M. A version of the connection representation of Regge action. // Classical and Quantum Gravity. - 2010. - Vol.27. - N6. - P.065003.
- [161] Artru X., Chehab R., Chevallier M., Kamitani T., Omori T., Rinolfi L., Strakhovenko V.M., Suwada T., Variola A., Vivoli A. A positron source using channeling in crystals for linear colliders. // Int. J. Mod. Phys. A. - 2010. - Vol.25. - P.106.
- [162] Hagiwara Kaoru, Kirilin Grisha. Angular distribution of thrust axis with power-suppressed contribution in  $e^{+}e^{-}$  annihilation. // J. of High Energy Physics. - 2010. - N10. - P.093; ISSN 1126-6708.
- [163] Zhiron A.O., Zhiron O.V., Shepelyansky D.L. Two-dimensional ranking of Wikipedia articles. // European Physical Journal B. - 2010. - Vol.77. - N4. - P.523-531; [E-print: arXiv:1006.4270v1 [cs.IR]] (2010).
- [164] Petrenko A.V., Lotov K.V., Logatchov P.V. and Burdakov A.V. The facility for 500 MeV plasma wake-field acceleration experiments at Budker INP. // AIP Conf. Proc. - 2010. - Vol.1229. - P.467-471.
- [165] Xia G., Caldwell A., Lotov K., Pukhov A., Kumar N., An W., Lu W., Mori B.W., Joshi C., Huang C., Muggli P., Assmann R., Zimmermann F. Update of proton driven plasma wakefield acceleration. // AIP Conf. Proc. - 2010. - Vol.1229. - P.510-515.
- [166] Aamodt K., Belikov I., Frolov A., Gorbunov S., Gorbunov Y., Grigoriev V., Ivanov A., Ivanov M., Ivanov V., Kaplin V., Kiselev S., Nikolaev S., Pestov Yu., Vasiliev A., et al. (ALICE Collab.). Midrapidity antiproton-to-proton ratio in pp collisions  $\sqrt{s}=0.9$  and 7 TeV measured by the ALICE experiment. // Physical Review Letters. - 2010. - Vol.105. - N7. - P.072002.
- [167] Afonin A., Akimov A., Cheplakov A., Ershov V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk, S.V., Petrov V., Pivovarov S., Pospelov G.E., Prokopenko N., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Usov Y., et al. (HiLum ATLAS Endcap Collab.). Relative luminosity measurement of the LHC with the ATLAS forward calorimeter. // J. of Instrumentation. - 2010. - Vol.5. - P.P05005; [E-print: arXiv:1005.1784; 0036327, 2010, 16p].
- [168] Terekhov Andrew V., Parallel Dichotomy Algorithm for solving tridiagonal system of linear equations with multiple right-hand sides. // J. Parallel Computing. - 2010.- Vol.36. - N8. - P.423-438.
- [169] Fedotov G.V., Kuraev E.A., Sibidanov A.L. Monte-Carlo generator photon jets used for luminosity at  $e^{+}e^{-}$ . // Chinese Physics C. - 2010. - Vol.34. - N6. - P. 877-882.

- [170] Tikhonov Yu.A. (ATLAS Liquid Argon HiLum Grp). Operation of the ATLAS end-cap calorimeters at sLHC luminosities: An experimental study. // NIM: Sec. A: Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment. - 2010. - Vol.617. - N1-3. - P.115-117.
- [171] Yang X.D., Mao L.J., Li G.H., Ma X.M., Yan T.L., Yuan Y.J., Song M.T., Yang J.C., Liu Y., Zhao T.C., Xia J.W., Zhang W., Gao D.Q., Zhou Z.Z., Yan H.B., Mao R.S., Han S.F., Zheng J.H., Yang X.T., Zhao H.W., Xiao C., Yin D.Y., Li P., Jia H., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Skorobogatov D.N. Commissioning of electron cooling in CSRe. // Chinese Physics C. - 2010. - Vol.34. - N7. - P.998-1004.
- [172] Silagadze Z.K., Tarantsev G.I. Comment on «Note on the dog-and-rabbit chase problem in introductory kinematics». // European Journal of Physics. - 2010. - Vol.31. - N2. - P.L37-L38.
- [173] Logashenko I.B. (CMD-3 Collab. and SND Collab.). Measurement of R at VEPP-2000. // Chinese Physics C. - 2010. - Vol.34. - N6. - P.669-674.
- [174] Druzhinin V.P. Measurements of the  $\gamma\gamma^* \rightarrow \pi^0$  and  $\gamma\gamma^* \rightarrow \eta^c$  transition form factors at BABAR. // Chinese Physics C. - 2010. - Vol.34. - N6. - P.816-821.
- [175] Mo Xiao-Hu., Achasov M. N., Blinov V. E., Krasnov A.A., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., Pyata E.E., Shamov A.G., Zhukov A.A., et al. Beam energy measurement system at BEPC II. // Chinese Physics C. 2010. - Vol.34. - N6. - P.912-917.
- [176] Maziashvili Michael, Silagadze Zurab. Quantum gravitational corrections to the hydrogen atom and harmonic oscillator. // Intern. J. of Modern Physics D. - 2010. - Vol.19. - N2. - P.137-151;
- [177] Korneev V.N., Shlektarev V.A., Zabelin A.V., Aul'chenko V.M., Tolochko B.P., Lanina N.F., Medvedev B.I., Nayda O.V., Vazina A.A. Equipment for investigations of biological nanostructures by diffraction methods using synchrotron radiation. // Glass Physics and Chemistry. - 2010. - Vol.36. - N1. - P.100-109.
- [178] Ivanovskikh K.V., Meijerink A., Piccinelli F., Speghini A., Zinin E.I., Ronda C., Bettinelli M. Optical spectroscopy of Ca<sub>3</sub>Sc<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, Ca<sub>3</sub>Y<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> and Ca<sub>3</sub>Lu<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> doped with Pr<sup>3+</sup>. // J. of Luminescence. - 2010. - Vol.130. - N5. - P.893-901.
- [179] Meshkov O.I., Zhuravlev A.N., Smaluk V.V. Multi-pinhole camera for beam position and vertical angle stabilization. // Instrumentation. - 2010. - Vol.5. - P03004. - 1748-0221.
- [180] Абакумова Е.В., Ачасов М.Н., Жуков А.А., Косарев А.Н., Краснов А.А., Мучной Н.Ю., Пята Е.Э. Высоковакуумное оптическое окно инфракрасного диапазона. // Вакуумная техника и технология. - 2010. - Том 20. - N2. - С.77-81.
- [181] Akhmetshin R.R., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Barkov L.M., Baru S.E., Bashtovoy N.S., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Fedotovich G.V., Gabyshev N.I., Grebenuk A.A., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Karpov S.V., Kazanin V.F., Khazin B.I., Koop I.A., Krokovny P.P., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Lysenko A.P., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Perevedentsev E.A., Popov A.S., Redin S.I., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Shatunov Yu.M., Shwartz B.A., Sibidanov A.L., Snopkov I.G., Solodov E.P., Yudin Yu.V., Zaytsev A.S., et al. (CMD-2 and CMD-2 Collab.). Detectors and physics at VEPP-2000. // Nucl. Instrum. Meth. A. - 2010. - Vol.623. - P.353-355.
- [182] Grancagnolo F., Fiore G., Ignatov F.V., Karavdina A.V., Khazin B.I., Miccoli A., Okhapkin V.S., Pivovarov S.G., Popov A.S., Ruban A.A., Sibidanov A.L., Snopkov I.G., Grancagnolo F., Khazin B.I., et al. // Drift chamber for the CMD-3 detector. // Nucl. Instrum. Meth. A. - 2010. - Vol.623. - P.114-116.
- [183] Anisenkov A., Ignatov F., Pirogov S., Sibidanov A., Viduk S., Zaytsev A. CMD-3 detector offline software development. // J. Phys. Conf. - 2010. - Ser.219:032027.
- [184] Di Dominico A., ..., Sibidanov A.L., et al. (KLOE Collaboration). CPT symmetry and quantum mechanics tests in the neutral kaon system at KLOE. // Found. Phys. - 2010. - Vol.40. - P.852-866.
- [185] Sanchez P. del Amo., ..., Blinov V.E., Bukin A.D., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. (BABAR Collab.). Search for the rare decay  $B \rightarrow K\nu\bar{\nu}$ . // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - P.112002; [E-print: arXiv:1009.1529].

- [186] Sanchez P. del Amo., ..., Blinov V.E., Bukin A.D., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. (BABAR Collab.). Measurement of the absolute branching fractions for  $D_s^- \rightarrow \ell^- \bar{\nu}_\ell$  and extraction of the decay constant  $f_{D_s}$ . // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - P.091103; [E-print: arXiv:1008.4080 [hep-ex]].
- [187] Sanchez P. del Amo., ..., Blinov V.E., Bukin A.D., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. (BABAR Collab.). Search for  $f_J(2220)$  in radiative  $J/\psi$  decays. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N17. - P.172001-1-7; [E-print: arXiv:1007.3526 [hep-ex]].
- [188] Sanchez P. del Amo., ..., Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. (BABAR Collab.). Study of  $B \rightarrow X\gamma$  decays and determination of vertical bar  $|V_{td}/V_{ts}|$  vertical bar. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - N5. - P.051101-1-8; [E-print: arXiv:1005.4087 [hep-ex]].
- [189] Sanchez P. del Amo., ..., Blinov V.E., Buzykaev A.N., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. (BABAR Collab.). Evidence for direct CP violation in the measurement of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa angle gamma with  $B^+ \rightarrow D^{(*)} K^{(*)+}$  decays. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N12. - P.121801-1-7; [E-print: arXiv:1005.1096 [hep-ex]].
- [190] Del Amo Sanchez P., ..., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., Yushkov A.N., et al. (BABAR Collab.). Measurement of  $D^0 - \bar{D}^0$  mixing parameters using  $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$  and  $D^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-$  decays. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N8. - P.081803-1-7; [E-print: arXiv:1004.5053 [hep-ex]].
- [191] Amo Sanchez P., ..., Blinov V.E., Bukin A.D., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. (BABAR Collab.). B-meson decays to  $\eta\rho$ ,  $\eta'f_0$ , and  $\eta'K^*$ . // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - P.011502; [E-print: arXiv:1004.0240 [hep-ex]].
- [192] Amo Sanchez P., ..., Blinov V.E., Bukin A.D., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. (BABAR Collab.). Observation of the  $Y(1^3D_J)$  bottomonium state through decays to  $\pi^+ \pi^- Y(1S)$ . // Phys. Rev. D. - 2010. - 2010. - Vol.82. - P.111102; [E-print: arXiv:1004.0175 [hep-ex]].
- [193] Lees J.P., ..., Blinov V.E., Bukin A.D., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serebnyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. (BABAR Collab.). Measurement of the  $\gamma\gamma^* \rightarrow \eta_c$  transition form factor. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.81. - P.052010; [E-print: arXiv:1002.3000 [hep-ex]].
- [194] Bragin Alexey V., Barkov Lev M., Bashtovoj Nikolay S., Grebenuk Andrej A., Karpov Sergey V., Okhapkin Victor S., Pivovarov Sergey G., Popov Yuri S., Ruban Alexander A., Khazin Boris I. Performance of the thin superconducting solenoid of the CMD-3 detector. // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. - Oct. 2010. - Vol.20. - N5. - P.2336-2340.
- [195] Барков Л.М., Гаузштейн В.В., Дмитриев В.Ф., Зеваков С.А., Логинов А.Ю., Мишнев С.И., Николенко Д.М., Осипов А.В., Рачек И.А., Садыков Р.Ш., Сидоров А.А., Стибунов В.Н., Топорков Д.К., Фикс А.И., Шестаков Ю.В. Исследование  $T_{21}$ -компоненты тензорной анализирующей способности реакции фотообразования  $\pi$  мезона на дейтроне. // Известия вузов. Физика. - 2010. - Т.53. - № 10/2. - С.18-24.
- [196] Гаузштейн В.В., Зеваков С.А., Лазаренко Б.А., Логинов А.Ю., Мишнев С.И., Николенко Д.М., Осипов А.В., Рачек И.А., Садыков Р.Ш., Сидоров А.А., Стибунов В.Н., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В. Измерение  $T_{20}$ ,  $T_{21}$  и  $T_{22}$ -компонент анализирующей способности реакции  $\gamma d \rightarrow \pi p \pi$ . // Известия вузов. Физика. - 2010. - Т.53. - № 10/2. - С.25-285.
- [197] Riordan S., ..., Nikolenko D.M., Rachek I.A. and Shestakov Yu.V., et al. Measurements of the electric form factor of the neutron up to  $Q^2 = 3.4 \text{ GeV}^2$  using the rReaction  $3\text{He}^+(e^+e^-)pp$ . // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - P.262302.
- [198] Di Benedetto Vito, Hauptman John, Mazzacane Anna, Ignatov Fedor. Dual-readout, particle



- identification, and 4th. // NIM in Physics Research A. Sec.: Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment. - Nov 1, 2010. - Vol.623. N1. - P.237-239.
- [199] Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Golubev V.B., Kirillov V.L., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Martin K.A., Serednyakov S.I., Vesenev V.M. Particle identification aerogel counter with  $n=1.13$  for  $\pi/K$  separation. // NIM in Physics Research A. Sec.: Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment. - Nov 1, 2010. - Vol.623. - N1. - P.336-338.
- [200] Achasov M.N., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Botov A.A., Golubev V.B., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Kovrizhin D.P., Koop I.A., Korol A.A., Koshuba S.V., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Shtol D.A., Serednyakov S.I., Silagadze Z.K., Skrinsky A.N., Tikhonov Yu.A., Shatunov Yu.M., Vasil'ev A.V. Study of the process  $e^+e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$  at energies  $\sqrt{s} < 1$  GeV. // Chinese Physics C. - 2010. - Vol.34. - N6. - P.680-685.
- [201] Abreu H., Beloborodova O., Bobrovnikov V., Maslennikov A., Maximov D., Peleganchuk S., Pospelov G., Talyshev, A., Tikhonov Yu., Usov, Y., et al. Performance of the electronic readout of the ATLAS liquid argon calorimeters. // J. of Instrumentation. - Sep. 2010. - Vol.5. - P09003; [<http://iopscience.iop.org/1748-0221/5/09/P09003>].
- [202] Silagadze Z.K. Citation entropy and research impact estimation. // J. Acta Physica Polonica B. - 2010. - Vol.41. - N11. - P.2325-2333.
- [203] Aulchenko V.M., Baru S.E., Evdokov O.V., Leonov V.V., Papushev P.A., Porosev V.V., Savinov G.A., Sharafutdinov M.R., Shekhtman L.I., Ten K.A., Titov V.M., Tolochko B.P., Vasiljev A.V., Zhogin I.L., Zhulanov V.V. Fast high resolution gaseous detectors for diffraction experiments and imaging at synchrotron radiation beam. // NIM A. - 2010. - Vol.623. - P.600-602.
- [204] Adam J., ..., Grigoriev D.N., Ignatov F., Kiselev O., Popov A., Yudin, Yu.V., et al (MEG Collab.). A limit for the  $\mu \rightarrow e \gamma$  decay from the MEG experiment. // Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.). 2010. - Vol.834. - N1-2. - P.1-12.
- [205] Grigoriev D.N, Kazanin V.F., Kuznetsov G.N., Shepelev S.N., V.N., Vasiliev Ya.V., et al. Alpha radioactive background in BGO crystals. // NIM A. - 2010. - Vol.623. - P.999-1001.
- [206] Бабичев С.Е., Бару С.Е., Поросев В.В., Украинцев Ю.Г. Новый подход к обеспечению транспортной безопасности при досмотре пассажиров и персонала. // Специальная техника. - 2010. - №6. - С.22-27.
- [207] Украинцев Ю.Г., Чернуха Е.А., Пучко Т.К. Диагностика узкого таза в современном акушерстве. // Медицинский бизнес. - 2010. - №12(199). - P.24-26.
- [208] Бару С.Е. Рентген для террориста. // Журнал «Оборонный заказ». - 2010. - №2(15). - С.24-27.
- [209] Бару С.Е. Мы помогаем реально. // Журнал «Воинское братство». - 2010. - №5. - С.88-91.
- [210] Blinov V.E., Bukin A.D., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K., et al. (BaBar Collab.). Measurements of charged current lepton universality and  $|V_{us}|$  using tau lepton decays to  $e^- \bar{\nu}_e \nu_e$ ,  $\mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\mu$ ,  $\pi^- \nu_\tau$ , and  $K^- \nu_\tau$ . // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N5. - P.051602-1-8; [[arXiv:0912.0242](http://arxiv.org/abs/0912.0242) [hep-ex]].
- [211] Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Sokolov A., Akimov D., Alexandrov I., Breskin A. Direct observation of avalanche scintillations in a THGEM-based two-phase Ar avalanche detector using Geiger-mode APD. // J. of Instrumentation. - 2010. - Vol.5. - Paper P08002. - P.1-21.
- [212] Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Pavluchenko D., Tikhonov Y. Further studies of two-phase avalanche detectors: Electron emission and gamma-ray detection properties. // NIM. A. - 2010. - Vol.A623. - P.102-104.
- [213] Antonelli M., Bondar A., Sibidanov A., et al. Flavor physics in the quark sector. // Phys. Rept. - 2010. - Vol.494. - N3-4. - P.197-414; [E-print: [arXiv:0907.5386](http://arxiv.org/abs/0907.5386) [hep-ph]].
- [214] Miyazaki Y., ..., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Sokolov A., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.), Search for lepton flavor and lepton number violating  $\tau$  decays into a lepton and two charged mesons. // Phys. Lett. B. - 2010.



- Vol.682. - N4-5. - P.355.
- [215] Hayasaka K., ..., Arinstein K., Aulchenko Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Kuzmin A., Poluektov A., Shwartz B., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Search for lepton flavor violating  $\tau$  decays into three leptons with 719 million produced  $\tau^+\tau^-$  pairs. // Phys. Lett. B. - 2010. - Vol.687. - N2-3. - P.139-143.
- [216] Miyazaki Y., ..., Arinstein K., Aulchenko Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Poluektov A., Shwartz B., Usov Y., Zhilich V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Search for lepton flavor violating  $\tau$  decays into  $\text{ell-K}_s^0$  and  $\text{ell-K}_s^0\bar{K}_s^0$ . // Phys. Lett. B. - 2010. - Vol.692. - N1. - P.4-9.
- [217] Hara K., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Shwartz B., Zhilich V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Evidence for  $B^- \rightarrow \tau(-)\nu_{\tau}$  with a semileptonic tagging method. // Phys. Rev. D. - 2010.- Vol.82. - P.071101.
- [218] Peng C.-C., ..., Bondar A., Eidelman., Gabyshev N., Shwartz B., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Search for  $B_s^0 \rightarrow hh$  decays at the Y(5S) resonance. // Phys. Rev. D. - 2010.- Vol.82. - P.072007.
- [219] Nakahama Y., ..., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Shwartz B., Zhilich V., et al. (Belle Collab.). Measurement of CP violating asymmetries in  $B^0 \rightarrow K^+K^-K_s^0$  decays with a time-dependent Dalitz approach. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - P.073011.
- [220] Chen K.-F., ..., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Shwartz B., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Observation of an enhancement in  $e^+e^-$  to Y(1S) $\pi^+\pi^-$ , Y(2S) $\pi^+\pi^-$ , and Y(3S) $\pi^+\pi^-$  production around  $\sqrt{s}=10.89$  GeV at Belle. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - P.091106(R).
- [221] Dungen W., ..., Eidelman S., Kuzmin A., Zhulanov V., et al. (Belle Collab.). // Measurement of the form factors of the decay  $B^0 \rightarrow D^{*+}\nu$  and determination of the CKM matrix element  $|V_{cb}|$ . // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - P.112007.
- [222] Uehara S., ..., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Shwartz B., Zhilich V., et al. (Belle Collab.). // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - P.114031.
- [223] Louvot R., ..., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shebalin V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Observation of  $B_s^0 \rightarrow D_s^{*+}\pi^-$ ,  $B_s^0 \rightarrow D_s^{(*)}\rho^+$  decays and measurement of  $B_s^0 \rightarrow D_s^{*+}\rho^+$  polarization. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.104. - P.231801.
- [224] Hyun H. J., ..., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Shwartz B., Zhilich V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Search for a low mass particle decaying into  $\mu^+\mu^-$  in  $B^0 \rightarrow K^*X$  and  $B^0 \rightarrow \rho^0 X$  at Belle. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N9. - P.091801-1-5.
- [225] Ishimura K., ..., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Kuzmin A., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). First measurement of inclusive  $B \rightarrow X_s \eta$  decays. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N19. - P.191803-1-6.
- [226] Esen S., ..., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Usov Yu., Zhilich V., et al. (Belle Collab.). Observation of  $B_s^0 \rightarrow D_s^{(*)+}D_s^{(*)-}$  using  $e^+e^-$  collisions and a determination of the  $B_s^-$  - anti- $B_s$  width difference  $\Delta\Gamma$ . // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N20. - P.201802-1-6.
- [227] Gershon T., and Poluektov A. Double Dalitz plot analysis of the decay  $B \rightarrow D K^+ \pi^-$ ,  $D \rightarrow K_s \pi^+ \pi^-$ . // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol. 81. - N1. - P.014025.
- [228] Bondar A., Poluektov A., and Vorobiev V. Charm mixing in a model-independent analysis of correlated  $D^0$  anti  $D^0$  decays. // Phys. Rev. D. - 2010. - Vol.82. - P.034033.
- [229] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Prompt  $K_s$  production in pp collisions at  $\sqrt{s}=0.9$  TeV. // Phys. Lett. B. - 2010. - Vol 693. - P.69.
- [230] Aaij R., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Poluektov A., Shekhtman L., et al. Measurement of  $\sigma(pp \rightarrow b \text{ anti-}b X)$  at  $\sqrt{s}=7$  TeV in forward region. // Phys. Lett. B. - 2010. - Vol 694. - P.209.
- [231] Schonning K., Kuzmin A., Shwartz B., et al. Production of  $\eta$  and  $3\pi$  mesons in the  $pd \rightarrow 3\text{He}X$  reaction at 1360 and 1450 MeV. // Eur. Phys. J. A. - 2010. - Vol.45. - N1. - P.11-21.
- [232] Schonning K., Shwartz B., et al. (by CELSIUS/WASA Collab.). The  $pd \rightarrow \text{He-3} \eta \eta^0$  reaction at  $T(p) = 1450$  MeV. // Phys. Lett. B. - 2010. - Vol.685. - P.33-37.

- [233] Kren F., Shwartz B., et al. (by CELSIUS/WASA Collab.). Exclusive measurements of  $pp \rightarrow d\pi^+\pi^0$ : double-pionic fusion without ABC effect. // *Phys. Lett. B.* - 2010. - Vol.684. - N2-3. - P.110-113.
- [234] Eidelman S. Tau lepton decays. // *Chinese Physics C.* - 2010. - Vol.34. - N6. - P.896-.
- [235] Nakamura K, ..., Eidelman S., et al. (Particle Data Group). Review of particle physics. // *J. Phys. G.* - 2010. - Vol.37. - N7A. - P.075021.
- [236] Eidelman S., et al.,  $e^+e^-$  annihilation to  $\pi^0\pi^0\gamma$  and  $\pi^0\eta\gamma$  as a source of information on scalar and vector mesons. // *Eur. Phys. J. C.* - 2010. - Vol.69. - N1-2. - P.103-118.
- [237] Тельнов В.И. Конспект лекций по механике и теории относительности. // НГУ, 2010, 175 стр. - <http://www.inp.nsk.su/~telnov/mech/>.
- [238] Anashin V.V., Aulchenko V.M., Baldin E.M., Barladyan A.K., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Baru S.E., Bedny I.V., Beloborodova O.L., Blinov A.E., Blinov V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bogomyagkov A.V., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Eidelman S.I., Glukhovchenko Yu.M., Gulevich V.V., Gusev D.V., Karnaev S.E., Karpov S.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kononov S.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kulikov V.F., Kurkin G.Ya., Kuper E.A., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Medvedko A.S., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Morozov I.I., Muchnoi N.Yu., Neufeld V.V., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Orlov I.O., Osipov A.A., Peleganchuk S.V., Pivovarov S.G., Piminov P.A., Petrov V.V., Poluektov A.O., Popkov I.N., Prisekin V.G., Ruban A.A., Sandyrev V.K., Savinov G.A., Shamov, D.N. Shatilov A.G., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skovpen Yu.I., Skrinsky A.N., Smaluk V.V., Sokolov A.V., Sukharev A.M., Starostina E.V., Talyshev A.A., Tayursky V.A., Telnov V.I., Tikhonov Yu.A., Todyshev K.Yu., Tumaikin G.M., Usov Yu.V., Vorobiov A.I., Yushkov A.N., Zhilich V.N., Zhulanov V.V., Zhuravlev A.N. Measurement of  $D^0$  and  $D^+$  meson masses with the KEDR detector. // *Phys. Lett. B.* - 2010. - Vol.686. - Issue 2-3. - P.84-90.
- [239] Anashin V.V., Aulchenko V.M., Baldin E.M., Barladyan A.K., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Baru S.E., Bedny I.V., Beloborodova O.L., Blinov A.E., Blinov V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bogomyagkov A.V., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Eidelman S.I., Glukhovchenko Yu.M., Gulevich V.V., Gusev D.V., Karnaev S.E., Karpov S.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kononov S.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kulikov V.F., Kurkin G.Ya., Kuper E.A., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Medvedko A.S., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Morozov I.I., Muchnoi N.Yu., Neufeld V.V., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Orlov I.O., Osipov A.A., Peleganchuk S.V., Pivovarov S.G., Piminov P.A., Petrov V.V., Poluektov A.O., Popkov I.N., Prisekin V.G., Ruban A.A., Sandyrev V.K., Savinov G.A., Shamov A.G., Shatilov D.N., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skovpen Yu.I., Skrinsky A.N., Smaluk V.V., Sokolov A.V., Sukharev A.M., Starostina E.V., Talyshev A.A., Tayursky V.A., Telnov V.I., Tikhonov Yu.A., Todyshev K.Yu., Tumaikin G.M., Usov Yu.V., Vorobiov A.I., Yushkov A.N., Zhilich V.N., Zhulanov V.V., Zhuravlev A.N. Measurement of  $\Gamma(J/\psi) \cdot B(J/\psi \rightarrow e^+e^-)$  and  $\Gamma(J/\psi) \cdot B(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-)$ . // *Physics Letters B.* - 2010. - Vol.685. - N2/3. - P.134-140; [E-print: arXiv:1012.1694, 2010 [Hep-ex]].
- [240] Shamov A.G., Anashin V.V., Aulchenko V.M., Baldin E.M., Barladyan A.K., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Baru S.E., Bedny I.V., Beloborodova O.L., Blinov A.E., Blinov V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bogomyagkov A.V., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Eidelman S.I., Glukhovchenko Yu.M., Gulevich V.V., Gusev D.V., Karnaev S.E., Karpov S.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kononov S.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kulikov V.F., Kurkin G.Ya., Kuper E.A., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Medvedko A.S., Meshkov O.I., Milstein A.I., Mishnev S.I., Morozov I.I., Muchnoi N.Yu., Neufeld V.V., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Orlov I.O., Osipov A.A., Peleganchuk S.V., Pivovarov S.G., Piminov P.A., Petrov V.V., Poluektov A.O., Popkov I.N., Prisekin V.G., Ruban A.A., Sandyrev V.K., Savinov G.A., Shatilov D.N., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skovpen Yu.I., Skrinsky A.N., Smaluk V.V., Sokolov A.V., Sukharev A.M., Starostina E.V., Talyshev A.A., Tayursky V.A., Telnov V.I., Tikhonov Yu.A., Todyshev K.Yu., Tumaikin G.M., Usov Yu.V., Vorobiov A.I., Yushkov A.N., Zhilich V.N., Zhulanov V.V., Zhuravlev A.N. Measurement of  $J/\psi$  leptonic widths with the KEDR detector. // *Chinese Physics C.* - 2010. - Vol.34. - N6. - P.836-841.

- [241] Anashin V.V., Aulchenko V.M., Baldin E.M., Barladyan A.K., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Baru S.E., Bedny I.V., Beloborodova O.L., Blinov A.E., Blinov V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bogomyagkov A.V., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Eidelman S.I., Glukhovchenko Yu.M., Gulevich V.V., Gusev D.V., Karnaev S.E., Karpov S.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kononov S.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kulikov V.F., Kurkin G.Ya., Kuper E.A., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Medvedko A.S., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Morozov I.I., Muchnoi N.Yu., Neufeld V.V., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Orlov I.O., Osipov A.A., Peleganchuk S.V., Pivovarov S.G., Piminov P.A., Petrov V.V., Poluektov A.O., Popkov I.N., Prisekin V.G., Ruban A.A., Sandyrev V.K., Savinov G.A., Shamov A.G., Shatilov D.N., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skovpen Yu.I., Skrinsky A.N., Smaluk V.V., Sokolov A.V., Sukharev A.M., Starostina E.V., Talyshv A.A., Tayursky V.A., Telnov V.I., Tikhonov Yu.A., Todyshev K.Yu., Tumaikin G.M., Usov Yu.V., Vorobiov A.I., Yushkov A.N., Zhilich V.N., Zhulanov V.V., Zhuravlev A.N. Measurement of  $J/\psi \rightarrow \eta_c \gamma$  at KEDR. // Chinese Physics C. - 2010. - Vol.34. - N6. - 831-835; [arXiv:1002.2071v2, 2010 [hep-ex]].
- [242] Anashin V.V., Aulchenko V.M., Baldin E.M., Barladyan A.K., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Baru S.E., Bedny I.V., Beloborodova O.L., Blinov A.E., Blinov V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bogomyagkov A.V., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Eidelman S.I., Glukhovchenko Yu.M., Gulevich V.V., Gusev D.V., Karnaev S.E., Karpov S.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kononov S.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kulikov V.F., Kurkin G.Ya., Kuper E.A., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Medvedko A.S., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Morozov I.I., Muchnoi N.Yu., Neufeld V.V., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Orlov I.O., Osipov A.A., Peleganchuk S.V., Pivovarov S.G., Piminov P.A., Petrov V.V., Poluektov A.O., Popkov I.N., Prisekin V.G., Ruban A.A., Sandyrev V.K., Savinov G.A., Shamov A.G., Shatilov D.N., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skovpen Yu.I., Skrinsky A.N., Smaluk V.V., Sokolov A.V., Sukharev A.M., Starostina E.V., Talyshv A.A., Tayursky V.A., Telnov V.I., Tikhonov Yu.A., Todyshev K.Yu., Tumaikin G.M., Usov Yu.V., Vorobiov A.I., Yushkov A.N., Zhilich V.N., Zhulanov V.V., Zhuravlev A.N. Recent results from the KEDR Detector. // Chinese Physics C. - 2010. - Vol.34. - Issue 6. - P.650-655.
- [243] Pestrikov D.V. Effect of the frequency spread on the transverse beam break-up instability of a bunch in storage rings. // NIM in Physics Research A. Sec.: Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment. - Dec 21, 2010. - Vol.624. - N3. - P.567-577.
- [244] Бочков В.Д., Бочков Д.В., Акимов А.В., Логачев П.В., Дягилев В.М., Уших В.Г. Применение тиратронов типа ТПИ в мощном двухимпульсном модуляторе с индуктивно-резистивной нагрузкой. // Труды ИИЭР по диэлектрикам и электрической изоляции. - 2010. - Т.17. - Вып. 3. - P.718-722.
- [245] Бубненко И.А., Сорокин А.И., Котосонов А.С., Виргильев Ю.С., Калягина И.П., Жмуриков Е.И., Губин К.В., Логачёв П.В. Особенности графитации углерода на основе изотопа  $^{13}\text{C}$ . // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. - 2010. - Том 53. - N10. - С.64-68.
- [246] Востриков В.А., Левичев Е.Б., Пархомчук В.В., Петриченков М.В., Скринский А.Н. Получен Патент РФ на полезную модель №93026 «Ускорительный комплекс для терапии рака протонными и ионными пучками». - Новосибирск: ИЯФ СО РАН.
- [247] Ауслендер Л., Брызгин А.А., Горбунов В.А., Горнаков И.В., Кузнецов Г.И., Макаров И.Г., Матяш Н.В., Острейко Г.Н., Панфилов А.Д., Сердобинцев Г.В., Тарнецкий В.В., Тиунов М.А., Факторович Б.Л., Чернов К.Н., Ческидов В.Г. 100 кВт линейный ускоритель модульного типа для промышленных применений с энергией электронов 7,5-10 МэВ // ВАНТ. Сер.: Ядерно-физические исследования. - 2010. - Том 53. - N2. - С.9-13.
- [248] Sorokin A., Belov V., Davydenko V., Deichuli P., Ivanov A., Podyminogin A., Shikhovtsev I., Shilgenko G., Stupishin N., Tiunov M. Characterization of 1 MW, 40 keV, 1 s neutral beam for plasma heating. // RSI. - 2010. - Vol.81. - N2. - P.02B108-02B108-4.
- [249] Dement'ev E.N., Karnev S.E., Krutikhin S.A., Kurkin G.Ya., Medvedko A.S., Motygin S.V., Oreshonok V.V., Osipov V.N., Petrov V.M., Rotov E.A., Smaluk V.V., Sukhanov D.P., Cherepanov V.P. Commissioning feedback systems at VEPP-4M electron-positron collider // Physics of Particles

- and Nuclei Letters. - 2010. - Vol.7. - N7. - P.466-472.
- [250] Volkov V. (BINP, Novosibirsk, Russia), J. Knobloch and A. Matveenko (HZB, Berlin, Germany). Monopole passband excitation by field emitters in 9-cell TESLA-type cavities. // Physical Review. - Special Topics: Accelerators and Beams, 2010. - Vol.13. - N8. - 19 August 2010. - DOI: 10.1103/PhysRevSTAB.13.084201.
- [251] Belikov O V, Belozerov A V, Becher Yu, Bulycheva Yu, Fateev A A, Galt A A, Kayukov A S, Krylov A R, Kobetz V V, Logachev P V, Medvedko A S, Meshkov I N, Minashkin V F, Pavlov V M, Petrov V A, Pyataev V G, Rogov A D, Sedyshev P V, Shabratov V G, Shvec V A, Shvetsov V.N, Skrypnik A V, Sumbaev A P, Ufimtsev A V and Zamrij V N. Physical start-up of the first stage of IREN facility. // Journal of Physics Conference Series 205, 2010, doi: 10.1088/1742-6596/205/1/012053 (XVIII Intern. School on Nuclear Physics: Neutron Physics and Applications, 21-27 September, 2009, Varna, Bulgaria).
- [252] Simonen T.C., Anikeev A., Bagryansky P., Beklemishev A., Ivanov A., Lizunov A., Maximov V., Prikhodko V., Tsidulko Yu. High beta experiments in the GDT Axisymmetric Magnetic Mirror. // J. of Fusion Energy. - Dec. 2010. - Vol.29. - N6. - P.558-560.
- [253] Horton W., Fu X.R., Ivanov A., Beklemishev A. Parameter optimization studies for a Tandem Mirror Neutron Source. // J. of Fusion Energy. - Dec. 2010. - Vol.29. -N6. - Sp. Iss. SI. - P.521-526.
- [254] Sorokina N., Burdakov A., Ivanov I., Kuklin K., Polosatkin S., Popov S., Postupaev V., Rovenskikh A., Shoshin A., Schudlo I. Diagnostics of heavy impurities at GOL-3 facility. // NIM in Physics Research A. Sec.: Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment. - Nov. 11, 2010. - Vol.623. - N2. - P.750-753.
- [255] Burdakov A.V., Ivanov A.A., Kruglyakov E.P. Modern magnetic mirrors and their fusion prospects. // Plasma Physics and Controlled Fusion. - Dec. 2010. - Vol.52. - N12. - Part. 1. - P.124026.
- [256] Kotelnikov I., Rome M. Relativistic thermal equilibrium of non-neutral plasmas. // Physics Letters A. - Nov. 1, 2010. - Vol.374. - N48. - P.4864-4871.
- [257] Aamodt K., Ivanov A., Ivanov M., Ivanov V., Pestov Yu. Alignment of the ALICE inner tracking system with cosmic-ray tracks. // J. of Instrumentations. - March 2010. - Vol.5. - P.P03003.
- [258] Kabantsev A.A., Dubin Daniel H.E., Driscoll C.F., Tsidulko Yu.A. Chaotic transport and damping from theta-ruffled separatrices. // Physical Review Letters. - 2010. - Vol.105. - N20. - P.205001-1-4.
- [259] Kabantsev A.A., Dubin Daniel H.E., Driscoll C.F., Tsidulko Yu.A. Neoclassical transport caused by collisionless scattering across an asymmetric separatrix. // Physical Review Letters. - 2010. - Vol.105. - N18. - P.185003-1-4.
- [260] Aamodt K., Frolov, A., Grigoriev V., Ivanov A., Ivanov M., Ivanov V., Kiselev S., et al. (ALICE Collab.). Transverse momentum spectra of charged particles in proton-proton collisions at root s=900 GeV with ALICE at the LHC. // Physics Letters B. - 2010. - Vol.693. - N2. - P.53-68.
- [261] Beklemishev A.D., Bagryansky P.A., Prikhodko V.V. Application of electrode-driven shear flows for improved plasma confinement. // ВАНТ. Сер.: Физика плазмы (Problems of Atomic Science and Technology. Ser.: Plasma Physics). - 2010. - N6(70). - P.8-10.
- [262] Tanaka K, Vyacheslavov L.N., Mishchenko A., et al. (LHD Expt Grp). Particle transport of LHD. // Fusion Science and Technology. - Aug. 2010. Vol.58. - N1(Sp. Iss. SI). - P.70-90.
- [263] Kawahata K, Sanin A., Vyacheslavov L.N., et al. Overview of LHD plasma diagnostics. // Fusion Science and Technology. 2010. - Vol.58. - N1(Sp. Iss. SI). - P.331-344.
- [264] Akiyama T., Vyacheslavov L.N., Sanin A., et al. (LHD Expt Grp). Interferometer systems on LHD. // Fusion Science and Technology. 2010. - Vol.58. - N1(Sp. Iss. SI). - P.352-363.
- [265] Balakin Alexey V., Borodin Alexander V., Kotelnikov Igor A., Savelev Andrey B., Shkurinov Alexander P. THz Emission from a femtosecond laser focus in a two-color scheme. // Journal of Optical Society of America B. Optical Physics. - 2010. - Vol.27. - N1. - P.16-26.
- [266] Romé Massimiliano, Kotelnikov Igor. Transport induced by symmetry breaking in a nonneutral plasma. // AIP Conf. Proc. - 2010. - Vol.1242. - P.175-182.



- [267] Kotelnikov I.A., Shkurinov A.P. Multiphoton ionization by a two-color laser pulse. // Вестник НГУ. Сер.: Физика. 2010. - Том 5. - N4. - 2010. - (Междунар. симп. "Терагерцовое излучение: генерация и применение", 26 - 28 июля 2010, Новосибирск).
- [268] Bayanov B., Burdakov A., Kuznetsov A., Makarov A., Sinitskii S., Sulyaev Yu., Taskaev S. Dosimetry and spectrometry at accelerator based neutron source for boron neutron capture therapy. // Radiation Measurements. - 2010. - Vol.45. - P.1462-1464.
- [269] Frolov A., Grigoriev V., Ivanov A., Ivanov M., Ivanov V., Kaplin V., Kondratiev V., Kondratyeva N., Vasiliev A., Vassiliev I., et al (Alice Collab.). Two-pion Bose-Einstein correlations in pp collisions at root s=900 GeV. // Physical Review D. - 2010. - Vol 82. - N5. - P.052001.
- [270] Ivanov A.V., Reva V.B. Calculation of the variable-profile electron beam for electron coolers. // Instruments and Experimental Techniques. - 2010. - Vol.53. - N4. - P.539-544.
- [271] Lotov K.V. Simulation of proton driven plasma wakefield acceleration. // Phys. Rev. ST - Accel. Beams. - 2010. - Vol.13. - N4. - P.041301(1-9).
- [272] Lotov K.V., Maslov V.I., Onishchenko I.N., and Svistun E.N. Resonant excitation of plasma wakefields by a non-resonant train of short electron bunches. // Plasma Phys. Control. Fusion. - 2010. - Vol.52. - N6. - P.065009.
- [273] Lotov K.V., Maslov V.I., Onishchenko I.N., Svistun E.N. 2.5d simulation of plasma wakefield excitation by a nonresonant train of relativistic electron bunches. // Problems of Atomic Science and Technology. Ser.: Nuclear Physics Investigations. - 2010. - Vol.2(53). - P.122-124.
- [274] Лотов К.В., Маслов В.И., Онищенко И.Н., Весновская М.С. 2d3v численное моделирование неустойчивости цилиндрического релятивистского электронного пучка в плазме. // Вопросы атомной науки и техники. - 2010. - Вып.4. - С.12-16.
- [275] Timofeev I.V., Terekhov A.V. Simulations of turbulent plasma heating by powerful electron beams. // Physics of Plasmas. - 2010. - Vol.17. - P.083111.
- [276] Kotelnikov A., Bagryansky P.A., Prikhodko V.V. Formation of a magnetic hole above the mirror-instability threshold in a plasma with sloshing ions. // Physical Review E. - 2010. - Vol.81. - N6, Part 2. - P.067402. -P.067402-1-4.
- [277] Astrelin V.T., Burdakov A.V., Bykov P.V., Ivanov I.A., Ivanov A.A., Jongen Y., Konstantinov S.G., Kudryavtsev A.M., Kuklin K.N., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitskiy S.L., Zubairov E.R. Blistering of the selected materials irradiated by intense 200 keV proton beam. // Journal of Nuclear Materials. - 2010. - Vol.396. - N1. - P.43-48.
- [278] Moiseenko V.E., Dreval N.B., Agren O., Stepanov K.N., Burdakov A.V., Kalinin P.V., and Tereshin V.I. Fast wave heating in a mirror during plasma build-up. // Eur. Phys. Journal D. - 2010. - Vol.56. - N3. - P.359-367.
- [279] Садыков В.А., Усольцев В.В., Федорова Ю.Е., Собянин В.А., Калинин П.В., Аржанников А.В., Власов А., Коробейников М.В., Брызгин А.А., Саланов А.Н., Предтеченский М.Р., Бобренок О.Ф., Улихин А., Уваров Н.Ф., Сморяго О.Л., Ильющенко А.Ф., Ульяницкий В.Ю., Злобин С.Б. Дизайн среднетемпературных твердооксидных топливных элементов на пористых подложках из деформационно упрочненного Ni-Al сплава. // Электрохимия, 2010 (в печати)
- [280] Sadykov Vladislav, Mezentseva Natalia, Usoltsev Vladimir, Sadovskaya Ekaterina, Ishchenko Arkady, Pavlova Svetlana, Bepalko Yulia, Kharlamova Tamara, Zevak Ekaterina, Salanov Aleksei, Krieger Tamara, Belyaev Vladimir, Bobrenok Oleg, Uvarov Nikolai, Okhlupin Yury, Smorygo Oleg, Smirnova Alevtina, Singh Prabhakar, Vlasov Aleksandr, Korobeynikov Mikhail, Bryazgin Aleksandr, Kalinin Peter, Arzhannikov Andrei. Solid oxide fuel cell composite cathodes based on perovskite and fluorite structures. // Journal of Power Sources, 2010, (to be published).
- [281] Navarro-Cia M., Kuznetsov S.A., Aznabet M., Beruete M., Falcone F., and Sorolla Ayza M. A Route for ulk millimeter wave and terahertz metamaterial design. // IEEE Journal of quantum electronics, 2010 (to be published).
- [282] Sorokina N., Burdako A.V., Ivanov I., Kuklin K., Polosatkin S., Popov S., Postupaev V., Rovenskikh A., Shoshin A., Schudlo I. Diagnostics of heavy impurities at GOL-3 facility. // NIM in Physics



- Research A. - 2010. - Vol.623. - P.750-753.
- [283] Bardakhanov S.P., Vasiljeva I.V., Kuksanov N.K. and Mjakin S.V. Surface functionality features of nanosized silica obtained by electron beam evaporation at ambient pressure. // *Advances in Materials Science and Engineering*. - 2010. - Article ID 241695, 5p, doi:10.1155/2010/241695. - Hindawi Publishing Corporation.
- [284] Kozlov A.S., Petrov A.K., Kulipanov G.N., Aseyev V. A novel method of probing the fractional composition of nanosystems // *KONA powder and particle journal*. - 2010. - N28. - P.219-226.
- [285] Levichev E., Vinokurov N. Undulators and other insertion devices. // *Reviews of Accelerator Science and Technology*. - 2010. - Vol.3. - N1. - P.203-220.
- [286] Vinokurov N. Low-gain free electron lasers. // *Reviews of Accelerator Science and Technology*. - 2010. - Vol.3. - N1. - P.77-91.3
- [287] Пикалов В.В., Баландин А.Л., Родионов Д.Г., Власенко М.Г., Князев Б.А. Терагерцовая томография низкоконтрастных объектов: алгоритмы и экспериментальные измерения. // *Вестник НГУ, сер.: Физика*. - 2010. - Т.5. - N4. - С. 91-97. - (Междунар. симп. "Терагерцовое излучение: генерация и применение", 26 - 28 июля 2010, Новосибирск).
- [288] Верхогляд А.Г., Завьялова М.А., Князев Б.А., Макаров С.Н., Ступак М.Ф. Разработка конфокального датчика 3В поверхности на основе метода дифракционного хроматического кодирования для целей терагерцовой спектроскопии. // *Вестник НГУ. Сер.: Физика*. - 2010. - Т.5, N4. - С.117-122.
- [289] Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Nikitin A.K. Terahertz dispersive spectroscopy thin-film study via surface-plasmon. // *Вестник НГУ. Сер.: Физика*. - 2010. - Т.5. - N4. - С.158-161.
- [290] Герасимов В.В., Князев Б.А., Никитин А.К., Никитин В.В. Неинтерферометрические способы определения комплексного показателя преломления терагерцовых поверхностных плазмонов. // *Вестник НГУ. Сер.: Физика*. - 2010. - Т.5. - N4. - С.147-150.
- [291] Чопорова Ю.Ю., Власенко М.М., Герасимов В.В., Князев Б.А., Никитин А.А., Черкасский В.С. Запись голограм в терагерцовом диапазоне на лазере на свободных электронах. // *Вестник НГУ. Сер.: Физика*. - 2010. - Т.5. - N4. - С.98-102. - (Междунар. симп. "Терагерцовое излучение: генерация и применение", 26 - 28 июля 2010, Новосибирск).
- [292] Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Овсяк В.Н., Фомин Б.И., Марчишин И.В., Алиев В.Ш., Князев Б.А., Герасимов В.В., Кулипанов Г.Н., Винокуров Н.А., Литвинцев В.И. Разработка и применение неохлаждаемых матричных микроболометров для терагерцового диапазона. // *Вестник НГУ. Сер.: Физика*. - 2010. - Т.5. - N4. - С.73-78.
- [293] Герасимов В.В., Князев Б.А., Черкасский В.С. Способ измерения распределения величины комплексного показателя преломления сильно поглощающих образцов. - Патент РФ №2396547 от 04.05.2009. Решение о выдаче 25.03.2010.
- [294] Абрамский Ю.А., Гольденберг Б.Г., Зелинский А.Г., Кондратьев В.И., Корольков В.П., Коронкевич В.П., Маслий А.И., Медведев А.Ж. Разработка химико-гальванических процессов для литографического производства трёхмерных микроструктур. // *Гальванотехника и Обработка Поверхности*. - 2010. - Том XVIII. - N2. - С.11.
- [295] Кривенцов В.В., Валеев З.Г., Сурнин Д.В., Бельтюков А.Н., Ветошкин В.М., Зубавичус Я.В., Елисеев А.А., Мезенцев Н.А. Синтез и исследование структуры упорядоченных массивов нанонитей германия // *Журнал структурной химии*. - 2010. - Т.51. - С. S135-S139.
- [296] Valeev R., Romanov E., Deev A., Beltukov A., Napolski K., Eliseev A., Krylov P., Mezentsev N., Kriventsov V. Synthesis of ZnSe semiconductor nanodots arrays by templated PVD. // *Physica Status Solidi*. - 2010. - Vol. 7. - N6. - P.1539-1541.
- [297] Батраков А.М. Системы автоматизации экспериментальных установок. // Новосибирск: НГУ, 2010, 24 стр.
- [298] Бехтенев Е.А., Батраков А.М. Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. // Новосибирск: НГУ, 2010, 30 стр.
- [299] Ращенко В.В. Импульсная техника. // Новосибирск: НГУ, 2010, 130 стр.

- [300] Фатькин Г.А., Отмар А.В. Магистрально-модульные системы автоматизации. // Новосибирск: НГУ, 2010, 56 стр.
- [301] Бехтенов Е.А., Середняков С.С. Справочное руководство по языку Си. // Новосибирск: НГУ, 2010, 26 стр.
- [302] Фатькин Г.А., Панов А.Н. Распределённые системы управления и последовательные шины передачи данных. // Новосибирск: НГУ, 2010, 32 стр.
- [303] Брызгин А.А., Воронин Л.А., Ткаченко В.О., Сидоров А.В., Горбунов В.А., Кокин Е.Н., Лукин А.Н., Нехаев В.Е., Панфилов А.Д., Радченко В.М., Факторович Б.Л., Штарклёв Е.А., Безуглов В.В., Власов А.Ю., Коробейников М.В. Использование ускорителей типа ИЛУ для стерилизации. // Медицинский бизнес. - 2010. - N12(199). - С.60-62.
- [304] Ablikim M., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., et al. (BESIII Collab.). Observation of a  $p(\bar{p})$  mass threshold enhancement in  $\psi' \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi$  ( $J/\psi \rightarrow \gamma p(\bar{p})$ ) decay. // Chinese Physics C. - 2010. - Vol.34. - N4. - P.421-426.
- [305] Nayak Pranaba K., Gupta Sunil K., Jain Atul, Mazumdar Indranil, Raha Sibaji, Saha Swapan K., Bobrov Aleksandr V., Osipov Anton, Shwartz Boris. A study of the  $\gamma$ -ray flux during the total solar eclipse of 1 August 2008 at Novosibirsk, Russia. // J. Astroparticle Physics. - 2010. - Vol.32. - N6. - P.286-293.
- [306] Lotov K.V., Maslov V.I., Onishchenko I.N. Long sequence of relativistic electron bunches as a driver in wakefield method of charged particles acceleration in plasma. // ВАНТ. Сер.: Физика плазмы. - 2010. - N6(70). - P.103-107.
- [307] Lotov K.V., Maslov V.I., Onishchenko I.N., Svistun E.N., Vesnovskaya M.S. To the plasma wakefield excitation by a nonresonant sequence of relativistic electron bunches at plasma frequency above bunch repetition frequency. // ВАНТ. Сер.: Физика плазмы. - 2010. - N6(70). - P.114-116.
- [308] Aad G., ATLAS Collab., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Kotov K.Y., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Panin V.N., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Search for new particles in two-jet final states in 7 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector at the LHC. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N16. - P.161801-1-17; [E-print: arXiv:1008.2461, 2010].
- [309] Aad G., ATLAS Collab., Bobrovnikov V.B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Observation of a centrality-dependent dijet asymmetry in lead-lead collisions at radical  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV with the ATLAS detector at the LHC. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N25. - P.252303-1-18; [E-print: arXiv:1011.6182, 2010].
- [310] Aamodt K., ALICE Collab., Pestov Yu., et al. Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at midrapidity in Pb-Pb collisions at radical  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.106. - N3. - P.032301-1-7.
- [311] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., et al. Evidence for  $\psi'$  decays into  $\gamma \pi^0$  and  $\gamma \eta$ . // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N26. - P.261801-1-6.
- [312] Aamodt K., ALICE Collab., Pestov Yu., et al. Elliptic flow of charged particles in Pb-Pb collisions at radical  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N25. - P.252302-1-11.
- [313] Aamodt K., ALICE Collab., Pestov Yu., et al. Charged-particle multiplicity density at midrapidity in central Pb-Pb collisions at radical  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV. // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vol.105. - N25. - P.252301-1-11.
- [314] Aad G., ATLAS Collab., Malyshev V., Maslennikov A.L., Peleganchuk S.V., Kazanin V.A., Kotov K.Y., Orlov I., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Schamov A.G., Zaytsev A., et al. The ATLAS simulation infrastructure. // Europ. Phys. J. C. - 2010. - Vol.70. - N3. - P.823-874; [E-print: arXiv:1005.1784; 0036327.- 2010 - 16p].
- [315] Aad G., ATLAS Collab., Kazanin V.A., Kotov K.Y., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Shamov A.G., Zaytsev A., et al. Commissioning of the ATLAS muon spectrometer with cosmic rays // Europ. Phys. J. C. - 2010. -

- Vol.70. -N3. - P.875 - 916; [E-print: arXiv:1006.4384, 2010].
- [316] Aad G., ATLAS Collab., Kazanin V.A., Kotov V.A., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Readiness of the ATLAS tile calorimeter for LHC collisions. // *Europ. Phys. J. C.* - 2010. -Vol. 70. - N4. - P.1193 -1236; [E-print: arXiv:1007.5423, 2010].
- [317] Aad G., ATLAS Collab., Kazanin V.A., Kotov K.Y., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. The ATLAS inner detector commissioning and calibration. // *Europ. Phys. J. C.* - 2010. - Vol.70. - N3. - P.787-821; [E-print: arXiv:1004.5293, 2010].
- [318] Aad G., ATLAS Collab., Kazanin V.A., Kotov K.Y., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Shamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Peleganchuk S.V., Zaytsev A., et al. Readiness of the ATLAS liquid argon calorimeter for LHC collisions. // *Europ. Phys. J. C.* - 2010. - Vol.70. - N3. - P.723-753.
- [319] Aad G., ATLAS Collab., Kazanin V.A., Kotov K.Y., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Shamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Y.A., Zaytsev A., et al. Drift time measurement in the ATLAS liquid argon electromagnetic calorimeter using cosmic muons. // *Europ. Phys. J. C.* - 2010. - Vol.70. - N3. - P.755-785; [E-print: arXiv:1002.4189, 2010].
- [320] Кулипанов Г.Н. Генерация и использование терагерцового излучения: история и перспективы. // *Вестник НГУ. Сер.: физика.* - 2010. - Т.5. - N4. - С.24-27. (Междунар. симп. "Терагерцовое излучение: генерация и применение", 26 - 28 июля 2010, Новосибирск).
- [321] Kuznetsov S.A., Arzhannikov A.V., Gelfand A.V., Kubarev V.V., Navarro-Cia M., Beruete M., Falcone F., Sorolla M., Thumm M. Microstructured quasi-optical selective components for subterahertz and terahertz applications. // *Вестник НГУ. Сер.: физика.* - 2010. - Vol.5. - N4. - С.79-90 (Междунар. симп. "Терагерцовое излучение: генерация и применение", 26 - 28 июля 2010, Новосибирск).
- [322] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Stepanov V.D., Sulyaev Yu.S., Thumm M.K.A., Vyacheslavov L.N. Subterahertz generation by strong Langmuir turbulence at two-stream instability of high current 1-MeV REBs. // *Вестник НГУ. Сер.: физика.* - 2010. - Vol.5. - N4. - С.44-49 (Междунар. симп. "Терагерцовое излучение: генерация и применение", 26 - 28 июля 2010, Новосибирск).
- [323] Abdulmanov V.G., Dikansky N.S. MIS-1 Electron-beam ion source MIS-1. // *Physics of Particles and Nuclear Letters.* - 2010. - Vol.7. - N7. - P.1-3.
- [324] Aad G., ..., Kazanin V.A., Kotov K.Yu., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Charged-particle multiplicities in pp interactions at  $\sqrt{s} = 900$  GeV measured with the ATLAS detector at the LHC. // *Phys Lett. B.* - 2010. - Vol.688. - N1. - P.21-42; [E-print: arXiv:1003.3124, 2010].
- [325] Aad G., ..., Kazanin V.A., Kotov K.Yu., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Skovpen K., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Performance of the ATLAS detector using first collision data // *J. High Energy Phys.* - 2010. - Vol.09. - P.056; [E-print: arXiv:1005.5254, 2010].
- [326] Aad G., ..., Bobrovnikov V.B., Bogdanchikov A., Kazanin V.A., Kolachev G.M., Korol A., Kotov K.Yu., Malyshev V., Maslennikov A.L., Orlov I., Panin V.S., Peleganchuk S.V., Skovpen K., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.). Measurement of the  $W \rightarrow l\nu$  and  $Z/\gamma^* \rightarrow ll$  production cross sections in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector. // *JHEP* 12 (2010) 060; [E-print: arXiv:1010.2130, 2010].
- [327] Silagadze Z.K. Schrodinger's cat versus Darwin. // *Electronic J. Theor. Physics.* - 2010. - Vol.7. - P.1-56.
- [328] Silagadze Z.K. Sliding rope paradox. // *Latin American J. Phys. Educ.* - 2010. - Vol.4. - P.294-302.

## ДОКЛАДЫ НА КОНФЕРЕНЦИЯХ

- [329] Семенов А.М., Анашин В.В., Гончарова Н.Ф., Кулипанов Г.Н., Ушаков В.А., Филипченко А.В., Щеголев Л.М. Статус и обзор вакуумной системы ТНК. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.16.
- [330] Батраков А.М., Вагин П.В., Воблый П.Д., Гуров Д.С., Ильин И.В., Огурцов А.Б., Tischer M., Уткин А.В., Хавин Н.Г., Холопов М.А., Шичков Д.С. Вигглеры на постоянных магнитах для уменьшения эмиттанса источника синхротронного излучения Petra-III. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.2.
- [331] Корнеев В.Н., Шлектарев В.А., Забелин А.В., Ланина Н.Ф., Аульченко В.М., Толочко Б.П., Литвинов Е.И., Вазина А.А. Статус станции "ДИКСИ" на синхротронном источнике СИБИРЬ-2 для исследований наноструктурной динамики природных и синтетических материалов методами SAXS/WAXS дифракции. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.24.
- [332] Ивлюшкин Д.В., Горловой А.В., Кондратьев В.И., Лях В.В., Николенко А.Д., Пиндюрин В.Ф., Устинов А.А. Отработка методик абсолютной калибровки для полупроводниковых фотодиодов. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.25.
- [333] Ракшун Я.В., Холопов М.А., Чернов В.А. Экспериментальный модуль станции мягкой рентгеновской спектроскопии. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.27.
- [334] Горловой А.В., Ивлюшкин Д.В., Николенко А.Д., Шестов С.В. Двухкоординатный детектор для метрологической станции "Космос". // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.29.
- [335] Купер К.Э., Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Тен К.А., Прууэл Э.Р., Зарко В.Е., Квасов А.А., Гольденберг Б.Г., Гольденберг Е.Л., Слюсаренко И.Ю. Обзор работ проводимых на станции СИ "Рентгеновская микроскопия и томография" накопителя ВЭПП-3. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.30-31.
- [336] Гольденберг Б.Г., Купер К.Э., Кондратьев В.И., Сороколетов Д.С., Голубцов С.К. Экспресс-метод контроля рентгеношаблонов для глубокой рентгенолитографии. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.32.
- [337] Пархомчук В.В., Растигеев С.А. Ускорительный масс-спектрометр ЦКП "Геохронология кайнозоя". // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.34.
- [338] Кривенцов В.В., Чернов В.А., Золотарев К.В. Первые результаты использования многоэлементного ППД для флуоресцентной XAFS спектроскопии в Сибирском центре СИ. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.37.
- [339] Тимченко Н.А., Гольденберг Б.Г., Пиндюрин В.Ф., Петрова Е.В., Николенко А.Д., Литвин С.В., Канаев В.Г., Юрченко В.И. Шаблоны для изготовления регулярных микроструктур методами LIGA-Технологии. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного



- излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.3.
- [340] Аульченко В.М., Головизин А.В., Евдоков О.В., Жогин И.Л., Жуланов В.В., Прууэл Э.Р., Толочко Б.П., Тэн К.А., Шехтман Л.И. Статус детектора DIMEX. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения: СИ-2010, Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.38-39.
- [341] Котельников А.И., Селиванов А.Н., Федотов М.Г. ПЗС-детектор для экспериментов с высоким временным разрешением на пучках СИ. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.44.
- [342] Генцелев А.Н., Кондратьев В.И., Пиндюрин В.Ф., Зелинский А.Г. Изготовление ЛИГА-шаблонов с несущими мембранами в виде тонких хрупких пластинок. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения: СИ-2010, Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.45.
- [343] Генцелев А.Н., Голубцов Б.Г., Кондратьев В.И., Пиндюрин В.Ф., Зелинский А.Г. ЛИГА-шаблоны на основе эпоксида-графита. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.46.
- [344] Легкодымов А.А., Машковцев М.Р., Николенко А.Д., Пиндюрин В.Ф., Лях В.В., Авакян С.В., Воронин Н.А. Сравнительная аттестация вторичных электронных умножителей в ультрамягком рентгеновском диапазоне. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.47.
- [345] Генцелев А.Н., Кондратьев В.И., Кузнецов С.А., Пиндюрин В.Ф., Зелинский А.Г. Технология изготовления селективных элементов ТГц-излучения в виде медных сеточных структур и их тестирование. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. С.48.
- [346] Генцелев А.Н., Голубцов Б.Г., Кондратьев В.И., Пиндюрин В.Ф., Зелинский А.Г. Изготовление био-чипов при помощи ЛИГА-технологии. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.49.
- [347] Генцелев А.Н., Кондратьев В.И., Пиндюрин В.Ф., Зелинский А.Г. Бериллиевые ЛИГА-шаблоны. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.50.
- [348] Шмаков А.Н., Иванов М.Г., Толочко Б.П., Шарафутдинов М.Р., Анчаров А.И., Жогин И.Л., Шеромов М.А. Новые возможности для рентгенодифракционных исследований в Сибирском центре СТИ. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.68.
- [349] Юрьев Г.С., Генцелев А.В., Кулакова И.И., Карпухин А.В. Структура гидрогенизованных наночастиц DNDH// XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010.
- [350] Вазина А.А., Васильева А.А., Забелин А.В., Ланина Н.Ф., Маевский Е.И., Корнеев В.Н., Кулипанов Г.Н., Куприянова Т.А., Летягин В.П., Станкевич В.Г. Рентгендифракционные и флуоресцентные исследования эпителиальных тканей при онкологической патологии. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.81.



- [351] Маркова Ю.Н., Максимовская В.В., Кербер Е.В., Золотарев К.В., Ракшун Я.В. Воспроизводимость РФА СИ на стандартных образцах состава донных отложений и растительности Прибайкалья. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.137.
- [352] Зарко В.Е., Квасов А.А., Симоненко В.Н., Чесноков Е.Н., Купер К.Э., Калмыков П.И., Ципилев В.П. Определение порога лазерного инициирования кристаллизованных смесей фуразанотетразиндиоксида и динитродиазапентана. - То же на англ. яз. // Забабахинские научные чтения: X Междунар. конф. 15 - 19 марта, 2010. - Тез., Снежинск: РФЯЦ - ВНИИТФ, 2010. - С.89-90.
- [353] Купер К.Э., Тен К.А., Прууэл Э.Р., Аминов Ю.А., Лобойко Б.Г., Смирнов Е.Б., Музыря А.К. Рентгеновская микротомография на пучках СИ зарядов ТАТБ. - То же на англ. яз. // Забабахинские научные чтения: X Междунар. конф. 15 - 19 марта, 2010. - Тез, Снежинск: РФЯЦ - ВНИИТФ, 2010. - С.101.
- [354] Гилёв О.Н., Вихляев Д.А., Легкодымов А.А., Николенко А.Д. Абсолютная калибровка рентгенооптических элементов и детекторов, применяемых в диагностических методиках лазерного рентгеновского излучения аргоновой плазмы капиллярного разряда ( $\lambda=46,9$  НМ). - То же на англ. яз. // Забабахинские научные чтения: X Междунар. конф. 15 - 19 марта, 2010. - Тез., Снежинск: РФЯЦ - ВНИИТФ, 2010. - С.158-159.
- [355] Чопорова Ю.Ю., Князев Б.А., Герасимов В.В., Власенко М.Г. Запись голограмм в терагерцовом диапазоне с помощью лазера на свободных электронах. // Материалы X Международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» (АПЭП-2010), Новосибирск, 22-24 сентября 2010. - Новосибирск: НГТУ, 2010, IEEE Catalog Number CFP1-471-PRT. - Т.5. - С.43-46.
- [356] Руденко А.С., Хрипович И.Б. Можно ли наблюдать СР-нарушения в столкновениях тяжелых ионов? // Третье Всерос. совещ.: Прецизионная физика и фундаментальные физические константы, Санкт-Петербург. - С. - Пб., 7 - 10 дек. 2010: Междунар. симп. "Пятьдесят лет по пути к квантовым единицам СИ", С. - Пб. 6 дек. 2010.: Тез. докл. - С. - Пб: С. - Пб. ГПУ, 2010. - С.5.
- [357] Эйдельман С.И. Прецизионные измерения массы тау-лептона. // III Всерос. совещ.: Прецизионная физика и фундаментальные физические константы, С. - Пб., 7 - 10 дек. 2010: Междунар. симп. "Пятьдесят лет по пути к квантовым единицам СИ", С. - Пб., 6 дек. 2010. - Тез. докл. - С. - Пб: С. - Пб. ГПУ, 54.
- [358] Ахметшин Р.Р., Аульченко В.М., Банзаров В.Ш., Барков Л.М., Баштовой Н.С., Бондарь А.Е., Брагин А.В., Епифанов Д.А., Габышев Н.И., Гребенюк А.А., Григорьев Д.Н., Зайцев А.С., Зверев С.Г., Игнатов Ф.В., Карпов С.В., Казанин В.Ф., Кузьмин А.С., Логашенко И.Б., Лукин П.А., Михайлов К.Ю., Никулин М.А., Охупкин В.С., Попов А.С., Редин С.И., Рубан А.А., Рыжененков А.Е., Рыскулов Н.М., Сибидапов А.Л., Скринский А.Н., Смахтин В.П., олодов Е.П., Тихонов Ю.А., Федотович Г.В., Хазин Б.И., Шварц Б.А., Шемякин Д.Н., Эйдельман С.И., Юдин Ю.В. Детектор КМД-3. // Третье Всерос. совещ.: Прецизионная физика и фундаментальные физические константы, С. - Пб., 7 - 10 дек. 2010: Междунар. симп. "Пятьдесят лет по пути к квантовым единицам СИ", С. - Пб., 6 дек. 2010. - Тез. докл. - С. - Пб: С. - Пб. ГПУ, 2010. - С.72.
- [359] Генцелев А.Н., Гольденберг Б.Г., Зелинский А.Г., Кузнецов С.А., Маслий А.И. Применение LIGA для создания селективных элементов ТГц-диапазона - металлических и псевдометаллических толстых сеточных структур. // Рабочее совещ. "Рентгеновская оптика - 2010", г. Черноголовка, 20 - 23 сент. 2010, Черноголовка: ИПТМ РАН, 2010. - С.156-157.
- [360] Беклемишев А.Д. О применимости вихревого удержания для нейтронного источника и других открытых ловушек. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.30.
- [361] Поступаев В.В., Астрелин В.Т., Баткин В.И., Бурдаков А.В., Бурмасов В.С., Вячеславов Л.Н.,

- Иваненко В.Г., Иванов И.А., Иванцовский М.В., Кузнецов С.А., Куклин К.Н., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Попов С.С., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л., Степанов В.Д., Судников А.В., Суляев Ю.С., Скляр В.Ф., Сорокина Н.В., Шошин А.А. Эксперименты с тонким электронным пучком на установке ГОЛ-3. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.31.
- [362] Коржавина М.С., Анисеев А.В., Максимов В.В., Пушкарева А.Н., Мурахтин С.В., Приходько В.В., Багрянский П.А. Экспериментальное изучение продольного удержания плазмы в установке "Газодинамическая ловушка" // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.3.
- [363] Анисеев А.В., Багрянский П.А., Зайцев К.В., Кириллов К.Ю., Коржавина М.С., Котельников И.А., Лизунов А.А., Львовский А.В., Максимов В.В., Мурахтин С.В., Пинженин Е.И., Приходько В.В., Пушкарева А.Н., Соломахин А.Л. Удержание быстрых ионов в ГДЛ в режимах с высоким относительным давлением. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.3.
- [364] Чирков А.Ю., Рыжков С.В., Багрянский П.А., Анисеев А.В. Термоядерные режимы аксиально-симметричной открытой системы с мощной инжекцией быстрых частиц. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.40.
- [365] Соломахин А.Л., Багрянский П.А., Biel W., Dreier H., Иваненко С.В., Квашнин А.Н., Коваленко Ю.В., Lambertz H.T., Лизунов А.А., Савкин В.Я., Хильченко А.Д. Многоканальный дисперсионный интерферометр для контроля плотности и положения плазмы. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.4.
- [366] Анисеев А.В. Численная модель нейтронного источника на основе газодинамической ловушки для трансмутации долгоживущих радиоактивных отходов. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.45.
- [367] Иванов А.А., Максимов В.В., Пинженин Е.И., Пчеляков О.П., Тишковский Е.Г., Чистохин И.Б. Применение кремниевых диодов для регистрации потоков частиц на установке ГДЛ. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.55.
- [368] Скляр В.Ф., Бурдаков А.В., Кузнецов С.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л. Исследование спектра эмиссии субмиллиметрового излучения при турбулентном нагреве плазмы на установке ГОЛ-3. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.56.
- [369] Зубарев П.В., Донин А.С., Моисеев Д.В., Мурахтин С.В. Модернизация установки ГДЛ. Новая система питания для атомарной инжекции. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.57.
- [370] Максимов В.В., Пинженин Е.И. Измерение выхода DD реакции на установке ГДЛ. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.58.
- [371] Львовский А.В., Соломахин А.Л. Измерение линейной плотности плазмы в газодинамической ловушке с помощью дисперсионного интерферометра. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.60.
- [372] Судников А.В., Бурдаков А.В., Иванов И.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин

- С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л. Импульсная МГД-активность плазмы установки ГОЛ-3 на стадии остывания. // XXXVII Междунар.(Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.6.
- [373] Аникеев А.В., Багрянский П.А., Донин А.С., Зайцев К.В., Иванов А.А., Кириллов К.Ю., Коваленко Ю.В., Коржавина М.С., Кругляков Э.П., Лизунов А.А., Львовский А.В., Максимов В.В., Мураштин С.В., Пинженин Е.И., Приходько В.В., Пушкарева А.Н., Савкин В.Я., Соломахин А.Л. Установка ГДЛ: очередной этап модернизации и достигнутые результаты. // XXXVII Междунар.(Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.76.
- [374] Беклемишев А.Д. Трехмерные бессилловые равновесия в открытой осесимметричной ловушке с током. // XXXVII Междунар.(Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.78.
- [375] Сковородин Д.И., Беклемишев А.Д. Численная кинетическая модель истечения плазмы из зеркальной ловушки. // XXXVII Междунар.(Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8-12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.82.
- [376] Бурдаков А.В., Иванов И.А., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сорокина Н.В., Шошин А.А., Шудло И.М. Исследование тяжелых примесей в многопробочной ловушке ГОЛ-3. // XXXVII Междунар.(Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8-12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.89.
- [377] Бурдаков А.В., Иванов И.А., Иваненко В.Г., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Судников А.В., Сеницкий С.Л., Шошин А.А., Шудло И.М. Стабилизация релятивистского электронного пучка облаком плотной плазмы в расширителе установки ГОЛ-3. // XXXVII Междунар.(Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.93.
- [378] Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Григорьев С.В., Кандауров И.В., Коваль Н.Н., Тересов А.Д. Особенности формирования электронных потоков в диоде с сеточной стабилизацией плазменной эмиссионной поверхности. // XXXVII Междунар. (Звенигород.) конф. по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февр. 2010. - Тез. докл. - М: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2010. - С.328.
- [379] Miginsky S.V. Energy spread and efficiency of FEL. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения: СИ-2010, Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.11.
- [380] Abakumova E.V., Anashin V.V., Balewski K., Boespflug R., Levichev E.B., Krasnov A.A., Kuzminykh V.S., Nagorny B., Semenov A.M., Smaluk k V.V., Tischer M., Wedekind H-P., Zapfe K., Zhukov A.A., Zolotarev K.V. Vacuum components performance for beam damping sections of PETRA III SR source. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения: СИ-2010, Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.12.
- [381] Salikova T.V. Stabilization FEL lasing based on fuzzy logic. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения: СИ-2010, Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.15.
- [382] Khrushchev S.V., Lev V.K., Mezentsev N.A., Miginsky E.G., Shkaruba V.A., Syrovatin V.M., Tsukanov V.M. Superconducting 117-pole 2.2 T wiggler with period of 30 mm for ALBA storage ring. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения: СИ-2010, Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.23.
- [383] Batrakov A., Ilyin I., Tischer M., Shichkov D., Utkin A., Vagin P., Vobly P. Hardware and software package for fine adjustment of PETRA-3 damping wigglers. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения: СИ-2010, Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн.

- тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.26.
- [384] Гольденберг Б.Г., Генцелев А.Н., Голубцов С.К., Зелинский А.Г., Кондратьев В.И., Кузнецов С.А., Купер К.Э., Маслий А.И., Медведев А.Ж., Петрова Е.В., Пиндюрин В.Ф., Сороколетов Д.С., Тимченко Н.А. LIGA-технология в Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения: СИ-2010, Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.35.
- [385] Ракшун Я.В., Легкодымов А.А., Максимовская В.В., Холопов М.А., Дарьин А.В. RFA station upgrade. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения: СИ-2010, Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010. - С.40.
- [386] Ivanov V.Yu., Pustovarov V.A., Kikas A., Kaambre T., Kuusik I., Kirm M., Zinin E.I. VUV and XUV luminescent spectroscopy of anion and cation excitons in oxide crystals. // XVIII Междунар. конф. по использованию синхротронного излучения: СИ-2010, Новосибирск, 19 - 22 июля 2010. - Кн. тез.: Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010.
- [387] Burdakov A.V., Dimov G.I., Ivanov A.A., Kruglyakov E.P. Novosibirsk mirrors: past, present and future. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010, Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.12.
- [388] Almagri A.F., Anderson J.K., Chapman B.E., Deichuli P., Den Hartog D.J., Forest C.B., Fiksel G., Ivanov A.A., Liu D., Nornberg M.D., Sarff J.S., Stupishin N., Waksman J. Majority ion heating by neutral beam injection and confinement of fast ions in the Madison Symmetric Torus reversed field pinch. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010, Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.14.
- [389] Anikeev A.V., Bagryansky P.A., Beklemishev A.D., Donin A.S., Ivanov A.A., Kovalenko Yu.V., Korzhavina M.S., Kruglyakov E.P., Lizunov A.A., Lvovskiy A.V., Maximov V.V., Murakhtin S.V., Pinzhenin E.I., Prikhodko V.V., Pushkareva A.N., Savkin V.Ya., Solomakhin A.L., Zaytsev K.V. Confinement of hot ion plasma with  $\beta=0.6$  in the gas dynamic trap. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, 5 - 9 July 2010, Novosibirsk, Russia. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.16.
- [390] Chirkov A.Yu., Ryzhkov S.V., Bagryansky P.A., Anikeev A.V. Plasma kinetics models for fusion systems based on the axially-symmetric mirror devices. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, 5 - 9 July 2010 Novosibirsk, Russia. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.18.
- [391] Akhmetov T.D., Ivanov A.A., Prikhodko V.V. Possible further steps for upgrading the GDT device. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010, Novosibirsk. - Abstracts, Novosibirsk: BINP SB RUS, 2010, P.19.
- [392] Kotelnikov I.A. Equilibrium of high-beta plasma with sloshing ions above the mirror instability threshold. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010, Novosibirsk, Russia. - Abstracts, Novosibirsk: BINP, 2010, P.21.
- [393] Shoshin A.A., Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Chebotarev V.V., Garkusha I.E., Ivanov I.A., Kuklin K.N., Makarov M.A., Makhraj V.A., Marchenko A.K., Mekler K.I., Rovenskikh A.F., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Sinitsky S.L., Tereshin V.I. Plasma-surface interaction during ITER type I ELMS: comparison of simulation with QSPA Kh-50 and the GOL-3 facilities. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, 5 - 9 July 2010, Novosibirsk. - Abstracts, Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.25.
- [394] Anisyonkov A. ATLAS grid information system. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.7.
- [395] Blinov V. Liquid 1016-1019 system for high power neutron converter. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.11.



- [396] Berkaev D., Ostanin I., Kozak V., Cherepanov V., Repkov V., Bykov E. Beam measurement system of VEPP-2000 injection channels. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.10.
- [397] Bogomyagkov A.V. Interaction region of Super  $\tau$  factory. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.12.
- [398] Bryzgunov M.I., Bublely A.V., Vostrikov V.A., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Reva V.B. Low energy proton storage ring with longitudinal magnetic field and electron cooling. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.13.
- [399] Epstein L.B. CMD-3 Liquid Xenon calorimeter's signals processing for timing measurements. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.15.
- [400] Getmanov YA.V., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A. Electron injection into a cyclic accelerator using laser wakefield acceleration. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.16.
- [401] Gramolin A.V. Proton form factors and two-photon exchange contribution to elastic electron-proton scattering. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.17.
- [402] Ignatov F. The hadronic cross-sections measurements at VEPP-2M and VEPP-2000  $e^+e^-$  colliders. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.18.
- [403] Achasov M.N., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Botov A.A., Golubev V.B., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Kovrizhin D.P., Koop I.A., Korol A.A., Koshuba S.V., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Serebnyakov S.I., Silagadze Z.K., Skrinsky A.N., Tikhonov Yu.A., Shatunov Yu.M., Vasil'ev A.V. Study of the process  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  at energies  $2E < 1$  GeV. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.20.
- [404] Obrazovskii A.E. Experimental study of higher order QED processes. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.26.
- [405] Okunev I. Superconducting final focus system for Super C-Tau Factory. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.27.
- [406] Petrozhitsky A.V. Time-of-high detector for new accelerator mass spectrometer. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstracts, Novosibirsk: 2010, P.28.
- [407] Piminov P. Super Tau Charm Factory Project. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstr., Novosibirsk: 2010, P.29.
- [408] Khriplovich I.B., Rudenko A.S. Can CP-violation be observed in heavy-ion collisions? // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstr., Novosibirsk: 2010, P.30; [E-print: ArXiv:1003.3339 [hep-ex]].
- [409] Shebalin V. Upgrade of the electromagnetic calorimeter for the Belle II experiment. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. Book of Abstr., Novosibirsk: 2010, P.32.
- [410] Skovpen K. ATLAS sensitivity to left-right symmetry at 7 TeV. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book



- of Abstr., Novosibirsk: 2010, P.33.
- [411] Sinyatkin S. Low emittance lattice for the CLIC damping ring. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstr., Novosibirsk: 2010, P.35.
- [412] Tikhonov Yu. High energy physics in Budker INP. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstr., Novosibirsk: 2010, P.37.
- [413] Bogdanchikov A., Korol A., Zaytsev A. System administration of ATLAS TDAQ computing environment. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstr., Novosibirsk: 2010, P.38.
- [414] Aulchenko V., Bondar A., Kuzmin A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Zhulanov V. New electron for Belle II electromagnetic calorimeter. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstr., Novosibirsk: 2010, P.39.
- [415] Kozyrev A.N. New DAQ CMD-3 detector. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstr., Novosibirsk: 2010, P.40.
- [416] Kononov S. Development of the Focusing Aerogel RICH detectors. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia. - Book of Abstr., Novosibirsk: 2010, P.41.
- [417] Burdakov A.V., Arzhannikov V., Astrelin V.T., Beklemishev A.D., Ivanov A.A., Ivantsivsky M.V., Kandaurov I.V., Kotelnikov I.A., Kruglyakov E.P., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Sinitsky S.L., Timofeev I.V., Zhukov V.P. Concept of fusion reactor based on multi-mirror trap. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.28.
- [418] Kandaurov I., Astrelin V., Avrorov A., Burdakov A., Bykov P., Derevyankin G., Kapitonov V., Kurkuchekov V., Rovenskikh A., Sinitsky S., Truneev Yu., Yarovoy V. Submillisecond electron beam for plasma heating in multi-mirror trap GOL-3. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.29.
- [419] Timofeev I.V., Terekhov A.V. Simulations of turbulent plasma heating by powerfull electron beams. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.30.
- [420] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Sulyaev Yu.S., Vyacheslavov L.N. Subterahertz emission at strong REB-plasma interaction in multimirror trap GOL-3. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010: Abstr., - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.31.
- [421] Beklemishev A.D. Tail-waving system for active feedback stabilization of flute modes in open traps. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.34.
- [422] Bagryansky P.A., Beklemishev A.D., Zaytsev K.V., Kotelnikov I.A., Maximov V.V., Prikhodko V.V., Pushkareva A.N., Soldatkina E.I. Low-frequency oscillations of plasma in the Gas Dynamic Trap. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010, Novosibirsk. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.35.
- [423] Anikeev A.V., Bagryansky P.A., Chernoshtanov I.S., Korzhavina M.S., Prikhodko V.V., Tsidulko Yu.A. Study of microinstabilities in anisotropic plasmoid of thermonuclear ions. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.37.
- [424] Sidorov A.V., Bagryansky P.A., Beklemishev A.D., Izotov I.V., Prikhodko V.V., Razin S.V., Skalyga V.A., Zorin V.G. Non-equilibrium heavy gases plasma MHD-stabilization in axisymmetric mirror

- magnetic trap. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.39.
- [425] Bagryansky P.A., Biel W., Dreier H., Ivanenko S.V., Khilchenko A.D., Kovalenko Yu.V., Kvashnin A.N., Lambert H.T., Lizunov A.A., Lvovskiy A.V., Savkin V.Ya., Solomakhin A.L. Measurement of plasma density in modern fusion devices by dispersion interferometer. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.494.
- [426] Chernoshtanov I.S., Tsidulko Yu.A. Alfvén ion-cyclotron instability in mirror trap with high-anisotropic plasma. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.40.
- [427] Ivanov A.A., Davydenko V.I., Deichuli P.P., Belov V.P., Gorbovsky A.I., Mishagin V.V., Shikhovtsev I.V., Sorokin A.V., Stupishin N.V., Shulzhenko G.I., Fiksel G., Schweer B. Development of focused neutral beams with small angular divergence for plasma heating and diagnostics. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.43.
- [428] Postupaev V.V., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Batkin V.I., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kuklin K.N., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Rovenskikh A.F., Shoshin A.A., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Sorokina N.V., Sudnikov A.V., Sulyaev Yu.S., Vyacheslavov L.N. Experiments with "Thin" electron beam at GOL-3. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.49.
- [429] Anikeev A.V., Dagan R., Fischer U. Numerical model of the fusion-fission hybrid system based on Gas Dynamic Trap for transmutation of radioactive wastes. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.54.
- [430] Driscoll C.F., Kabantsev A.A., Dubin D.H.E., Tsidulko Y.A. Overview of transport, damping, and wave-couplings from separatrix dissipation in an axisymmetric plasma. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.56.
- [431] Beklemishev A.D. Three-dimensional force-free equilibria in open traps driven by electron beams. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.60.
- [432] Sudnikov A.V., Burdakov A.V., Ivanov I.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L. MHD activity in GOL-3 at the stage of plasma cooling. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.61.
- [433] Ivanov I.A., Burdakov A.V., Ivanenko V.G., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sudnikov A.V., Sinitsky S.L., Shoshin A.A., Shchudlo I.M. Stabilization of relativistic electron beam by dense plasma cloud in GOL-3 expander. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.64.
- [434] Skovorodin D.I., Beklemishev A.D. Numerical kinetic model of axial confinement in a mirror trap. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.66.
- [435] Dimov G.I. Feasible scenario of creation and burning of fusion plasma in ambipolar D-T reactor. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.70.
- [436] Dimov G.I., Emelev I.S., Vobly P.D., Kobets V.V., Tiunov M.A. Multicusp trap with circular geometry for confinement of low-temperature plasma. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.71.

- [437] Volosov V. Problems of the ACT reactor (the P11B reaction). // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.72.
- [438] Anikeev A.V., Bagryansky P.A., Fischer U., Noack K., Tsidulko Yu.A. The GDT based neutron source as a driver in a sub-critical burner of radioactive wastes. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.74.
- [439] Bagryansky P.A., Maximov V.V., Pinzhenin E.I., Prikhodko V.V. DD product yield in the GDT central cell. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.86.
- [440] Polosatkin S., Belykh V., Davydenko V., Fiksel G., Ivanov A., Kapitonov V., Khilchenko A., Khilchenko V., Mishagin V., Tiunov M. Advanced neutral particle analyzer for fusion plasma diagnostics. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.87.
- [441] Arakcheev A.S., Lotov K.V. Formation of small dust particles by brittle destruction. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.89.
- [442] Batkin V.I., Bobylev V.B., Burdakov A.V., Davydenko V.I., Ivanov A.A., Kapitonov V.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sorokina N.V., Sulyaev Yu.S., Trunev Yu.A. Development of new neutral beam injection system on GOL-3 facility. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.88.
- [443] Listopad A.A., Davydenko V.I., Ivanov A.A., Schweer B. Characterization of RUDI neutral beam parameters by optical diagnostics. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.92.
- [444] Shoshin A.A., Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Kuklin K.N., Ivanov I.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Raspopin K.S., Rovenskikh A.F., Simonov P.A., Sinitsky S.L., Snytnikov V.N. Structure modification of different graphite and glassy carbon surfaces under high power action by hydrogen plasma. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.90.
- [445] Smirnov A., Krivenko A.S., Murakhtin S.V., Savkin V.Ya., Korepanov S.A., Putvinski S. Neutral beam dump with cathodic arc titanium gettering. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.91.
- [446] Abdrashitov G.F., Abdrashitov A.G., Deichuli P.P., Donin A.S., Khilchenko A.D., Lizunov A.A., Moiseev D.V., Murakhtin S.V., Sorokin A.V., Zubarev P.V. Neutron beam systems of the Gas Dynamic Trap. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.94.
- [447] Averbukh I.I., Belov V.P., Davydenko V.I., Deichuli P.P., Ivanov A.A., Kapitonov V.A., Podyminogin A.A., Sorokin A.A., Shikhovtsev I.V. A continuously operated 70mA, 50keV proton source for plasma diagnostic and other applications. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.95.
- [448] Sorokina N., Burdakov A., Makarov M., Mekler K., Polosatkin S.V., Postupaev V., Rovenskikh A., Sinitsky S., Stepanov V. Study of plasma on the GOL-3 facility by imaging VUV spectroscopy. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.96.
- [449] Popov S.S., Vyacheslavov L.N., Ivantsivskiy M.V., Burdakov A.V., Kasatov A.A., and the GOL-3 team. Upgrading of Thomson Scattering system for measurements of spatial dynamics of plasma heating in GOL-3. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement,

- Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.98.
- [450] Lvovskiy A.V., Solomakhin A.L. Line plasma density measurement in the Gas Dynamic Trap with dispersion interferometer. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.100.
- [451] Burmasov V.S., Bobylev V.B., Ivanova A.A., Ivanenko S.V., Kasatov A.A., Kasatov D.A., Kuklin K.N., Popov S.S., Puryga E.A., Rovenskikh A.F., Sklyarov V.F. CO<sub>2</sub> interferometer for GOL-3 multimirror trap. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010, Novosibirsk. - Abstracts, Novosibirsk: BINP SB RUS, 2010, P.101.
- [452] Arzhannikov A.V., Makarov M.A., Sinitsky S.L., Stepanov V.D. Energy spectrum of electrons in flow from plasma column heated by REB at GOL-3 facility. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.103.
- [453] Timofeev I.V., Terekhov A.V., Lotov K.V. Direct computation of the growth rate for the instability of a warm relativistic electron beam in a magnetized plasma. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.105.
- [454] Astrelin V., Burdakov A., Kandaurov I., Postupaev V., Sinitsky S., Timofeev I. Physical basis for the use of long pulse electron beam in multi-mirror trap. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.106.
- [455] Ivanov A.A. Perspectives of development of magnetic mirror traps in Novosibirsk. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.110.
- [456] Astrelin V., Burdakov A., Vshivkov V., Vshivkov K., Medvedev S., ShvabI., Yakunkin N. Numerical modeling of plasma dynamic in non-uniform magnetic field. // The 8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 5 - 9 July 2010. - Abstr., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.108.
- [457] Vinokurov N.A., Knyazev B.A., Demytyev E., Dovzhenko B.A., Gerasimov V.V., Getmanov Ya.V., Kolobanov E.I., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Medvedev L.E., Miginsky S.V., Mironenko L.A., Ovchar V.K., Persov B.Z., Popik V.M., Salikova T.V., Scheglov M.A., Srednyakov S.S., Shevchenko O.A., Skrinsky A.N., Tcheskidov V.G., Tokarev Yu.F., Vlasenko M.G., Vobly P.D., Zaigraeva N.S. Novosibirsk free electron laser: instrumentation development and experimental achievements. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.11.
- [458] Aliev V.Sh., Dem'yanenko M.A., Esaev D.G., Ovsiuk V.N., Fomin B.I., Knyazev B.A., Gerasimov V.V., Kulipanov G.N., Vinokurov N.A. Design and application of uncooled microbolometer array for terahertz spectral range. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.26.
- [459] Kubarev V.V. Drummond light of calcium oxide. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.31.
- [460] Vlasenko M.G., Cherkassky V.S., Choporova Yu.Yu., Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Krutko V.V., Polschitsin A.A., Malykh N.Yu., Nikitin A.A. Talbot effect in visible and terahertz ranges: examination and application. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.38.
- [461] Pickalov V.V., Balandin A.L., Rodionov D.G., Vlasenko M.G., Knyazev B.A. Terahertz tomography: algorithms and experimental setup. // Intern. symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.40.



- [462] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Stepanov V.D., Sulyaev Yu.S., Vyacheslavov L.N. Subterahertz generation by strong Langmuir turbulence at two-stream instability of high current 1-MeV REBs. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.42.
- [463] Kotelnikov I.A. Multiphoton ionization by a two-color laser pulse. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28; Joined with Scientific School-Workshop, 29 July - 1 August, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.56.
- [464] Peltek S.E., Mesheryakova I.A., Goryachkovskaya T.N., Demidova E.V., Demidov E.A., Khlebodarova T.M., Oschepkov D.Yu., Kolchanov N.A., Popik V.M., Scheglov M.A., Vinokurov N.A., Kulipanov G.N., Nikolaev E.N. E.coli proteom expression under terahertz irradiation. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.5.
- [465] Kuznetsov S.A., Arzhannikov A.V., Kubarev V.V., Paulish A.G., Gelfand A.V., Navarro-Cia M., Beruete M., Falcone F., Sorolla M., Goldenberg B.G. Microstructured quasioptical selective components for subterahertz and terahertz applications. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.63.
- [466] Klimov A.E., Kubarev V.V., Paschin N.S., Shumsky V.N. Photocurrent dynamics in PbSnTe: in films in the submillimeter spectral range. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.68.
- [467] Gerasimov V.V. Real-time imaging ATR spectrometer with tunable terahertz free electron laser as a radiation source. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.70.
- [468] Vedernikov V.M., Dutov P.M., Kokarev A.I., Knyazev B.A., Palchikova I.G., Stupak M.F., Chugui Yu.V., Gerasimov V.V. Transparent power diffractive lenses for FEL radiation. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.71.
- [469] Miginsky S.V. Compact submillimeter FEL project. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.72.
- [470] Assovskiy I.G., Berlin A.A., Gerasimov V.V., Obratsova E.A. On terahertz non-destructive detection of energetic materials. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.74.
- [471] Verkhogliad A.G., Zavyalova M.A., Knyazev B.A., Makarov S.N., Stupak M.F. Development of confocal 3D surface sensor based on the diffraction - chromatic coding method for the purpose of spectroscopic measurements. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.75.
- [472] Choporova Yu.Yu., Cherkassky V.S., Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Nikitin A.A., Vlasenko M.G. Approaching terahertz holography using the free electron laser. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.77.
- [473] Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Nikitin A.K. Terahertz dispersive spectroscopy for thin-film study via surface-plasmon - bulk wave interference. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.78.
- [474] Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Nikitin A.K., Nikitin V.V. Noninterferometric techniques to determine terahertz surface-plasmon complex refractive index. // Intern. Symp. "Terahertz Radiation: Generation and Application", July 26 - 28, 2010, Novosibirsk, Russia. - Digest Rep., Novosibirsk:



- BINP SB RAS, 2010, P.79.
- [475] Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A. Third harmonic lasing on terahertz NovoFEL [Electronic resource]. // 35th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2010), Rome, Italy, 5 - 10 Sept. 2010. - 3p.
- [476] Klimov A.E., Kubarev V.V., Shumsky V.N. Terahertz imaging using intermediate thermal screen [Electronic resource]. // 35th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2010), Rome, Italy, 5 - 10 Sept. 2010. - 1p.
- [477] Knyazev B.A., Cherkassky V.S., Choropova Yu.Yu., Gerasimov V.V., Vlasenko M.G. The Talbot effect in the terahertz spectral range [Electronic resource]. // 35th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2010), Rome, Italy, 5 - 10 Sept. 2010. - 2p.
- [478] Knyazev B.A., Balandin A.L., Cherkassky V.S., Choropova Yu.Yu., Gerasimov V.V., Dem'yanenko M.A., Esaev D.G., Nikitin A.A., Pickalov V.V., Vlasenko M.G., Rodionov D.G., Shevchenko O.A. Classic holography, tomography and speckle metrology using a high-power terahertz free electron laser and real-time image detectors [Electronic resource]. // 35th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2010), Rome, Italy, 5 - 10 Sept. 2010. - 3p.
- [479] Bekhtenev E.A., Karpov G.V., Shubin E.I. The TNK beam position monitor system [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino, IHEP, 2010, P.110-112.
- [480] Bekhtenev E.A., Karpov G.V. Wideband BPM electronics for the VEPP-4M collider [Electronic resource]. // RuPAC XXII: Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.245-247.
- [481] Golubenko Yu.I., Medvedko A.S., Nemitov P.I., Pureskin D.N., Senkov D.V. Power source for high-voltage column of injector to proton synchrotron with output power up to 5 kW [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.360-362.
- [482] Rogovsky Yu., Nesterenko I.N. Calibration of the electrostatic beam position monitor for VEPP-2000 [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.98-100.
- [483] Rogovsky Yu.A., Bekhtenev E.A. Pickup beam measurement system at the VEPP-2000 collider [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.101-103.
- [484] Senkov D.V., Gusev I.A., Medvedko A.S., Protopopov A.Yu., Pureskin D.N. High-voltage source with output voltage up to 60 kV with output current up to 1A [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.357-359.
- [485] Rastigeev S.A., Frolov A.R., Goncharov A.D., Klyuev V.F., Konstantinov S.G., Konstantinov E.S., Kutnykova L.A., Parkhomchuk V.V., Petrichenkov M.V., Petrozhitskii A.V. First radiocarbon measurements at BINP AMS [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.309-312.
- [486] Semenov A.V., Cherepkov V.G., Kluev V.F., Konstantinov E.S., Kuper E.A., Mamkin V.R., Medvedko A.S., Nemytov P.I., Repkov V.V., Reva V.B., Salimov R.A., Senkov D.V., Vostrikov V.A. Status of HITS injector [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010, Protvino. - IHEP, 2010, P.376-378.
- [487] Sukhanov D.P., Cherepanov V.P., Oreshonok V.V., Smaluk V.V. Transverse bunch-by-bunch digital feedback for the VEPP-4M collider [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.236-238.
- [488] Ivanov A.V., Bryzgunov M.I., Bublely A.V., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Reva V.B. Electron gun and collector for 2 MeV electron cooler for COSY [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.233-235. WECHZ05.

- [489] Nikitin S. Accelerator aspects of the precision mass measurement experiments at the VEPP-4M collider with the KEDR detector [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEM Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEM, 2010, P.11-13.
- [490] Belikov O., Kozak V., Medvedko A. A family of twenty-amperes power supplies for multipole correctors for accelerators and storage rings [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEM Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEM, 2010, P.306-308.
- [491] Rogovsky Yu.A., Berkaev D.E., Kyrpotin A.N., Nesterenko I.N., Romanov A.L. Beam measurements with visible synchrotron light on VEPP-2000 collider [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEM Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEM, 2010, P.104-106.
- [492] Talanov V., Dzhelyadin R., Bobrov A., Bondar A., Alessio F., Corti G., Lieng M.H. A beam loss scintillator system for background monitoring at the LHCb experiment. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEM Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEM, 2010, P.286-288.
- [493] Kuksanov N.K., Golubenko Yu.I., Nemytov P.I., Salimov R.A., Fadeev S.N., Lavruhkin A.V., Korchagin A.I., Kogut D.S., Semenov A.M. High power ELV accelerators for industries application. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEM Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEM, 2010, P.313-315.
- [494] Bohme C., Dietrich J., Kamerzhiev V., Juelich F.Z.J., Bryzgunov M., Reva V., Kobets A., Meshkov I., Rudakov A., Shurkhno N., Sidorin A. Results of electron cooling beam studies at COSY [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.156-160. WECHZ04.
- [495] Shwartz D., Berkaev D., Kirpotin A., Koop I., Lysenko A., Nesterenko I., Perevedentsev E., Rogovsky Yu., Romanov A., Shatunov P., Shatunov Yu., Skrinisky A., Zemlyansky I. Present status of VEPP-2000 [Electronic resource]. // XXII: Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.1-5.
- [496] Vinokurov N.A., Demytyev E.N., Dovzhenko B.A., Galt A.A., Getmanov Ya.V., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Medvedev L.E., Miginsky S.V., Mironenko L.A., Ovchar V.K., Persov B.Z., Popik V.M., Salikova T.V., Scheglov M.A., Serebnyakov S.S., Shevchenko O.A., Skrinisky A.N., Tcheskidov V.G., Vlasenko M.G., Vobly P.D., Zaigraeva N.S. Status and prospects of the Novosibirsk FEL facility [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.133-135.
- [497] Dietrich J., Kamerzhiev V., Juelich F.Z.J., Bryzgunov M.I., Goncharov A.D., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Skorobogatov D.N. Progress with the 2 MeV electron cooler for COSY-Juelich/HESR [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010, Protvino. - IHEP, 2010, P.147-150. WECHZ02.
- [498] Dietrich J., Kamerzhiev V., Juelich F.Z.J., Bryzgunov M.I., Bocharov V.N., Bublely A.V., Cheskidov V.G., Goncharov A.D., Kryuchkov A.M., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Polukhin V.A., Putmakov A.A., Reva V.B., Skorobogatov D.N. Development of electron cooler components for COSY [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.151-155. WECHZ03.
- [499] Podobaev V.S., Bezuglov V.V., Bryazgin A.A., Chernov K.N., Cheskidov V.G., Factorovich B.L., Gorbunov V.A., Gornakov I.V., Ivanov A.V., Kokin E.N., Korobeynikov M.V., Lukin A.N., Makarov I.G., Matyash N.V., Maximov S.A., Ostreiko G.N., Panfilov A.D., Radchenko V.M., Romashko N.D., Serdobintsev G.V., Sidorov A.V., Tarnetsky V.V., Tiunov M.A., Tkachenko V.O. Status of ILU-14 electron accelerator [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.411-413. [<https://oraweb.cern.ch/pls/rupac2010/jacow.html>].
- [500] Boettcher Ju., Zamriy V.N., Kayukov A.S., Kobets V.V., Meshkov I.N., Minashkin V.F., Pyataev V.G., Skripnik A.V., Sumbaev A.P., Shabratov V.G., Shvets V.A., Shvetsov V.N., Logachev P.V.,

- Pavlov V.M. The electron linear accelerator LUE-200 - driver the IREN facility [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.346-348.
- [501] Yang X., Li G., Li J., Ma X., Mao L., Mao R., Yan T., Yang J., Yuan Yo., Parkhomchuk V.V., Reva V.B. Electron cooling experiments in CSR [Electronic resource]. // XXII Russian Particle Accelerator Conf. (RUPAC-2010), IHEP, Protvino, Sept. 27 - Okt. 1, 2010. - Protvino: IHEP, 2010, P.161-165.
- [502] Eidelman S. Status of muon g-2. // Третье Всерос. совещ. Прецизионная физика и фундаментальные физические константы, С. - Пб., 7 - 10 дек. 2010: Междунар. симп. "Пятьдесят лет по пути к квантовым единицам СИ", С. - Пб., 6 дек. 2010. - Тез. докл. - С. - Пб.: ГПУ, 2010. - С.15.
- [503] Achasov M.N., Astigeevich P.M., Aulchenko V.M., Barnyakov A.Yu., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Blinov V.E., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Bukin D.A., Golubev V.B., Grevtsov K.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Kovrizhin D.P., Korol A.A., Koshuba S.V., Kravchenko E.A., Martin K.A., Obrazovsky A.E., Onuchin A.P., Pakhtusova E.V., Serednyakov S.I., Silagadze Z.K., Skovpen K.Yu., Skrinsky A.N., Surin I.K., Tikhonov Yu.A., Usov Yu.V., Shatunov Yu.M., Shtol D.A., Shukaev A.N., Vasiljev A.V., Vlasenko E.A. Spherical Neutral Detector for experiments at VEPP-2000 e+e- collider. // Третье Всерос. совещ. "Прецизионная физика и фундаментальные физические константы", С. - Пб., 7 - 10 дек. 2010, Санкт-Петербург: Междунар. симп. "Пятьдесят лет по пути к квантовым единицам СИ", С. - Пб. 6 дек. 2010. - Тез. докл. - С. - Пб: С. - Пб. ГПУ, 2010, С.71.
- [504] Beruete M., Navarro-Cia M., Kuznetsov S.A., Falcone F., Aznabet M., Sorolla M. Polypropylene films for millimeter-to-terahertz waves metasurfaces [Electronic resource]. // 35th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW - THz 2010), Rome, Italy, 5 - 10 Sept. 2010.
- [505] Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F. Generation of submillimeter radiation by strong plasma turbulence at electron beam - plasma interaction [Electronic resource]. // 35th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2010), Rome, Italy, 5 - 10 Sept. 2010. - Paper Fr-E.1-4.
- [506] Kuznetsov S.A., Navarro-Cia M., Gelfand A.V., Fedorinina N.I., Arzhannikov A.V., Beruete M., Falcone F., Sorolla M. Ultra-thin Mm-wave absorbers based on high-impedance metasurfaces [Electronic resource]. // 35th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2010), Rome, Italy, 5 - 10 Sept. 2010, Paper We-P.93.
- [507] Paulish A., Fedorinin V.N., Gelfand A.V., Kuznetsov S.A., Paulish A.G. Matrix micro-golay cell IR imager [Electronic resource]. // 35th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2010), Rome, Italy, 5 - 10 Sept. 2010, Paper Mo-P.75
- [508] Valishev A., Kuznetsov G., Shiltsev V., Strancari G., Zhang X., Romanov A. Progress with tevatron electron lens head-on beam-beam compensation [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Center, 2010, P.2084-2086.
- [509] Biagini M.E., Raimondi P., Piminov P., Sinyatkin S., Nosochkov Y., Wittmer W. Super-B lattice studies [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Center, 2010, P.1521-1523.
- [510] Getmanov YA.V., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A. Electron injection into a cyclic accelerator using laser wakefield acceleration [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Center, 2010, P.1503-1505.
- [511] Vinokurov N.A., Dementyev E.N., Dovzhenko B.A., Getmanov Ya.V., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Medvedev L.E., Miginsky S.V., Mironenko L.A., Ovchar V.K., Palagin K.V., Persov B.Z., Popik V.M., Salikova T.V., Scheglov M.A., Serednyakov S.S., Shevchenko O.A., Skrinsky A.N., Tcheskidov V.G., Tokarev Yu.F., Vobly P.D., Zaigraeva N.S. Novosibirsk free electron laser facility: two-orbit ERL with two FELs [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern.

- Conf. Center, 2010, P.2427-2429. [<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC10/papers/weoara03.pdf>].
- [512] Cherepkov V.G., Kluev V.F., Konstantinov E.S., Kuper E.A., Mamkin V.R., Medvedko A.S., Nemytov P.I., Repkov V.V., Reva V.B., Salimov R.A., Semenov A.V., Senkov D.V., Vostrikov V.A. Ion injector based on tandem accelerator [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Center, 2010, P.717 - 719.
- [513] Vogel V., Cherepenko A., Choroba S., Hartung J., Bak P., Korepanov A., Evmenova N. Connection module for the european X-RAY FEL 10 MW horizontal multibeam klystron [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Center, 2010, P.3978 - 3980.
- [514] Romanov A.L., Berkaev D.E., Kirpotin A.N., Koop I.A., Perevedentsev E.A., Rogovsky Yu.A., Shatunov P.Yu., Shwartz D.B. Round beam lattice correction using response matrix at VEPP-2000 [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Center, 2010, P.4542-4544.
- [515] Bondarenko A.V., Miginsky S.V., Vinokurov N.A. A novel extraction scheme from a synchrotron using a magnetic shield [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Center, 2010, P.1656-1658.
- [516] Dietrich J., Kamerzhiev V., Bryzgunov M.I., Goncharov A.D., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Skorobogatov D.N. Status of the 2 MeV electron cooler for COSY Juelich [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Center, 2010, P.843-845. MOPD067.
- [517] Simonov E., Levichev E., Shatilov D. Application of frequency map analysis to beam-beam effects study in crab waist collision scheme [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Center, 2010, P.4692-4694.
- [518] Chernousov Yu., Ivannicov V., Shebolaev I., Levichev A., Pavlov V. Characteristics of the parallel coupled accelerating structure [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Centre, 2010, P.3764-3767.
- [519] Romanov A.L., Valishev A.A., Shiltsev V. Simplified approach to evaluation of beam-beam tune spread compression by electron lens [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Centre, 2010, P.4545-4547.
- [520] Drago A., Raimondi P., Zobov M., Shatilov D. Synchrotron oscillation damping due to beam-beam collisions [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Centre, 2010, P.3644-3646.
- [521] Wienands U., Nosochkov Yu., Sullivan M.K., Wittmer W., Barber D.P., Biagini M.E., Raimondi P., Koop I., Nikitin S., Sinyatkin S. Polarization in Super B [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Centre, 2010, P.1587-1589.
- [522] Variale V., Valentino V., Batazova M., Kuznetsov G., Skarbo B., Clauser T., Cosimo Raino A. Charge breeding test experiment with a hollow gun EBIS [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Centre, 2010, P.4167-169.
- [523] Papaphilippou Y., Levichev E., Sinyatkin S., Vobly P., Zolotarev K., et al. Design optimisation of the CLIC damping rings [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Centre, 2010, P.3554-3556.
- [524] Zolotarev K., Malyshev O.B., Korostelev M., Wolski A., Lucas J.M., Collomb N., Postlethwaite S. SR power distribution along wiggler section of ILS DR [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Centre, 2010, P.3569-3571.
- [525] Malyshev O.B., Lucas J.M., Collomb N., Postlethwaite S., Korostelev M., Wolski A., Zolotarev K. Mechanical and vacuum design of the wiggler section of the ILC damping rings [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan.



- Kyoto Intern. Conf. Centre, 2010, P.3563-3565.
- [526] Xia G., Caldwell A., Lotov K., Pukhov A., Assmann R., Zimmermann F. A proposed experiment on the proton driven plasma wakefield acceleration [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Centre, 2010, P.4392-4394.
- [527] Sullivan M.K., Bertsche K., Vobly P., Bettoni S., Raimondi P., Paoloni E. A new interaction region design for the Super B factory [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto Intern. Conf. Centre, 2010, P.1581-1583.
- [528] Kulipanov G. High-power THz NovoFEL: applications. // THz-Bio Workshop, March 9-10, SNU, Seoul, Korea. - Abstr., Seoul Nat. Univ, 2010, P.29-30. P.28: (Brief Biographies and Research Interests).
- [529] Knyazev B.A., Choporova Yu.Yu., Gerasimov V.V., Vlasenko V.G. Terahertz imaging devices and classic optical experiments at Novosibirsk free electron laser. // The 17th Intern. Symp. on Laser Spectroscopy (SOLS 2010), Nov. 4 - 5, 2010, Daejeon, Korea. - Daejeon: KAERI, 2010, P.IV-3 (Abstract Book of Sols. - 2010. - Vol.17, N1).
- [530] Miginsky S.V. Compact submillimeter FEL project. // The 17th Intern. Symp. on Laser Spectroscopy: SOLS 2010, Nov. 4 - 5, 2010, Daejeon, Korea. - Daejeon: KAERI, 2010, P.IV-4 (Abstract Book of Sols., 2010, Vol.17, N1).
- [531] Fadin V.S. BFKL pomeron in QCD and in N=4 SUSY. // The 3rd Intern. Workshop "High Energy Physics in the LHC Era", January 4 - 8, 2010, Valparaiso, Chile.
- [532] Фадин В.С. Мёбиусовская форма ядра БФКЛ и модель цветowych диполей. \ \ XLIV Зимняя Школа ПИЯФ, Март 9-14, 2010, Рошино, Россия.
- [533] Fadin V.S., Fiore R., Grabovsky A.V. and Papa A. Quasi-conformal shape of the BFKL kernel and impact factors for scattering of colourless particles. // Intern. Conference "DIFFRACTION 2010", September 10-15, 2010, Otranto (Lecce), Italy.
- [534] Fadin V.S. Möbius representation of small-x evolution kernels at NLO. // Intern. Conference "Hadron Structure and QCD: from LOW to HIGH energies", July 5 - 9, 2010, Gatchina, Russia.
- [535] Katkov V.M. Exact theory of the photoproduction of charged particles in external fields. // Intern. Conference "Channaling 2010", Ferrara, Italy. - Book of abstracts, P.15.
- [536] Sokolov V.V. Classical Versus Quantum Dynamical Chaos: Sensitivity to External Perturbations, Stability and Reversibility. // Intern. Conference Chaos 2010 "Chaotic Modeling and Simulation", June 1-4, 2010, Chania, Crete, Greece. - Electronic Proceedings, 2010, P.82.
- [537] Bogomyagkov A. Tuning of the interaction region for tau-charm factory in Novosibirsk. // XIII SuperB General Meeting, 30 May - 5 June, 2010, Isola d'Elba.
- [538] Bogomyagkov A., Levichev E. On other possible solutions for the crab-waist transformation. // XIV SuperB General Meeting, 27 September - 1 October, 2010, LNF.
- [539] Koop A., Bogomyagkov A.V., Otboev A.V. Longitudinally polarized electrons in Novosibirsk C-tau Factory. // 19th Intern. Spin Physics Symposium (SPIN-2010), September 27 - October 2, 2010, Juelich, Germany.
- [540] Milardi C., Levichev E.B., Nikitin S.A., Piminov P.A., Shatilov D.N., et al. DAFNE developments for the KLOE-2 experimental run [Electronic resource]. // 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan. - Kyoto: Kyoto Intern. Conf. Center, 2010. - P.1527-1529; [E-print: arXiv:1006.1487. TUPEB006, IPAC'10].
- [541] Barkov L.M., Fix A.I., Gauzshteyn V.V., Loginov A.Yu., Nikolenko D.M., Mishnev S.I., Osipov A.V., Rachek I.A., Sidorov A.A., Stibunov V.N., Toporkov D.K., Shestakov Yu.V., Zevakov S.A. Study of the spin-dependent observables in p-meson photoproduction on the tensor deuteron. Nucleus 2010: Methods of Nuclear Physics for Femto- and Nanotechnologies. // LX Intern. Conference on Nuclear Physics, St.Petersburg, July 6-9, 2010. - Book of Abstracts: St. Petersburg State University, 2010, P.193 (51638776).
- [542] Rachek I.A., Barkov L.M., Dmitriev V.F., Karnakov I.V., Lazarenko B.A., Mishnev S.I., Nikolenko



- D.M., Osipov A.V., Sadukov R.Sh., Stibunov V.N., Shestakov Yu.V., Toporkov D.K., Zevakov S.A. Photoreactions with tensor-polarized deuterium target at VEPP-3. // 19th Intern. Spin Physics Symposium (SPIN-2010), Julich, Germany, September 27 - October 2, 2010. - Julich: Forshungszentrum Julich Institute for Nuclear Physics, 2010, P.152 (54592329).
- [543] Stibunov V.N., Barkov L.M., Gauzshteyn V.V., Dmitriev V.F, Loginov A.Yu., Mishnev S.I., Nikolenko D.M., Osipov A.V., Rachek I.A., Sidorov A.A., Shestakov Yu.V., Toporkov D.K., Fix A.I., Zevakov S.A. Study of tensor analysing component T21 for the pi-meson photoproduction on the deuteron. // 19th Intern. Spin Physics Symposium (SPIN-2010), Julich, Germany, September 27 - October 2, 2010. - Julich: Forshungszentrum Julich Institute for Nuclear Physics, 2010, P.222 (41247514).
- [544] Abakumova E., Achasov M., Hai Yi Dong, Hua Min Qu, Krasnov A., Kosarev A., Muchnoi N., Pyata E., Qiong Xiao, Xiao Hu Mo, Yi Fang Wang, Zhukov A. Vacuum chamber for the measurement system of the beam energy. // 18th Intern. Vacuum Congress, August 23-27, 2010, Beijing, China.
- [545] Anashin V.V., Krasnov A.A. Method for investigation of low energy electron interaction with metal surface in presence of magnetic field. // 18th Intern. Vacuum Congress, August 23-27, 2010, Beijing, China.
- [546] Украинцев Ю.Г, Суслин В.П. Сканирующая технология визуализация - метод снижения радиационной нагрузки в радиологии. // Материалы IV Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2010», 25 - 27 мая 2010, Москва. - С.460-462.
- [547] Руднева Т.В., Руднев С.В., Украинцев Ю.Г. Метод рентгенопельвиметрии в акушерстве. // Материалы I съезда врачей лучевой диагностики СФО «Достижения, перспективы и основные направления развития лучевой диагностики в Сибири», 7-8 октября 2010, Новосибирск. -С.178-181.
- [548] Суслин В.П., Отрощенко В.А., Чиков В.А., Украинцев Ю.Г. Эффективные дозы облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований на цифровых и пленочных аппаратах. // Материалы I съезда врачей лучевой диагностики СФО «Достижения, перспективы и основные направления развития лучевой диагностики в Сибири», 7-8 октября 2010, Новосибирск. - С.216-220.
- [549] Babichev E.A., Baru S.E., Grigoriev D.N., Groshev V.R., Leonov V.V., Papushev P.A., Porosev V.V., Savinov G.A., Shayakhmetov V.R., Shekhtman L.I., Tikhonov Yu.A., Ukraintsev Yu.G., Yurchenko Yu.B. High-resolution detectors for medical applications and synchrotron radiation research. // Proc. of 12th Vienna Conference on Instrumentation. Vienna, Austria. 15-20 February, 2010.
- [550] Бару С.Е. Рентгенографические системы с предельно низкими дозами облучения. // Материалы I съезда врачей лучевой диагностики СФО «Достижения, перспективы и основные направления развития лучевой диагностики в Сибири», 7-8 октября 2010, Новосибирск. - Сборник трудов, С.27-30.
- [551] Druzhinin V.P. Recent BABAR results on two-photon physics. // 35th Intern. Conference of High Energy Physics (ICHEP 2010), July 22-28, 2010, Paris, France. - [arXiv:1011.6159 [hep-ex]].
- [552] Buzulutskov A. Advances in GEM-based cryogenic avalanche detectors. // Plenary talk at 12th Vienna Conference on Instrumentation (VCI 2010), 15-20 February 2010, Austria.
- [553] Buzulutskov A. Cryogenic avalanche detectors development in Budker INP. // Invited talk at BINP-KEK Workshop on Noble Liquid TPC, Nov. 24-25, 2010, KEK, Japan.
- [554] Бузулуцков А.Ф., Развитие криогенных лавинных детекторов в ИЯФ им. Г.И. Будкера. // Пленарный доклад на рабочем совещании коллаборации РЭД, 23 декабря 2010, МИФИ, Москва, Россия.
- [555] Bondar A.E. Hot topics of Belle - Recent results on X(3872). // 4th Intern. Workshop on Charm Physics, October, 2010, Beijing, China.
- [556] Eidelman S. Precise measurement of the tau lepton lifetime at Belle. // XI Intern. Workshop on Tau Lepton Physics, September, 2010, Manchester, UK.

- [557] Kuzmin A.S. Heavy quarkonium and -like states. // Deep-Inelastic Scattering Workshop, April, 2010, Florence, Italy.
- [558] Bondar A.E. Electroweak related rare decays. // Moriond Electroweak 2010, March, 2010, La Thuile, Italy.
- [559] Telnov V.I. A high luminosity Photon collider without damping rings. // Talk at the Intern. Linear Collider Workshop (LCWS10), March 26-30, 2010, Beijing, China. - <http://ilcagenda.linearcollider.org/conferenceOtherViews.py?view=standard&confId=4175>.
- [560] Telnov V.I. A low emittance e- source without damping ring. // Talk at the Intern. Linear Collider Workshop (LCWS10), March 26-30, 2010, Beijing, China. - <http://ilcagenda.linearcollider.org/conferenceOtherViews.py?view=standard&confId=4175>.
- [561] Telnov V.I. Consideration of a photon collider without damping rings. // Talk at Intern. Workshop on Linear Colliders (IWLC2010), ECFA-CLIC-ILC Joint Meeting: October 18-22, 2010, CERN, Switzerland. - <http://ilcagenda.linearcollider.org/getFile.py/access?contribId=357&sessionId=42&resId=1&materialId=slides&confId=4507>.
- [562] Telnov V.I. FEL pumped solid state laser system for the photon collider at CLIC. // The talk Intern. Workshop on Linear Colliders (IWLC2010), ECFA-CLIC-ILC Joint Meeting: October 18-22, 2010, CERN, Switzerland. - <http://ilcagenda.linearcollider.org/getFile.py/access?contribId=358&sessionId=42&resId=0&materialId=slides&confId=4507>.
- [563] Moortgat-Pick G., Rinolfi Louis, Riemann S., Telnov V.I. Summary of the working groups polarization gamma-gamma technical aspects. // The talk Intern. Workshop on Linear Colliders (IWLC2010), ECFA-CLIC-ILC Joint Meeting: October 18-22, 2010, CERN, Switzerland. - <http://ilcagenda.linearcollider.org/getFile.py/access?contribId=590&sessionId=102&resId=1&materialId=slides&confId=4507>.
- [564] S.I. Eidelman, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnaev, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev, (KEDR Collab.). High-precision tau lepton mass measurement at KEDR. // XI Intern. Workshop on Tau Lepton Physics, September 2010, Manchester, UK.
- [565] E.M. Baldin, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnaev, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev, et al. (KEDR Collab.). Measurement of  $\Gamma(J/\psi) \cdot B(J/\psi \rightarrow e^+e^-)$  and  $\Gamma(J/\psi) \cdot B(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-)$ . // 35th Intern. Conference on High Energy Physics (ICHEP 2010), July

22-28, 2010, Paris, France. - Proceedings of Science (ICHEP 2010), P.222.

- [566] A.G. Shamov, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnaev, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev, et al. (KEDR Collab.). Measurement of  $J/\psi$ ,  $\psi(2S)$ ,  $\tau$  masses with KEDR detector at VEPP-M collider. // 35th Intern. Conference on High Energy Physics (ICHEP 2010), July 22-28 2010, Paris, France.
- [567] K.Yu. Todyshev, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnaev, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev, et al. (KEDR Collab.). Measurement of  $\psi(3770)$  resonance parameters with KEDR detector at VEPP-4M. // 35th Intern. Conference on High Energy Physics (ICHEP2010), July 22-28 2010, Paris, France.
- [568] K.Yu. Todyshev, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnaev, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev, et al., (KEDR Collab.). Recent results from the KEDR detector. // 4th Intern. Workshop on Charm Physics (Charm2010), Oct. 21-24, 2010, IHEP, Beijing, China.
- [569] K.Yu. Todyshev, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnaev, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G.

- Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev, (KEDR Collab.). Measurement of  $\psi(3770)$  resonance parameters with KEDR. // 4th Intern. Workshop on Charm Physics (Charm2010), Oct. 21-24, 2010, IHEP, Beijing, China.
- [570] V.M. Malyshev, V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnaev, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. Levichev, D.A. Maksimov, V.M. Malyshev, A.L. Maslennikov, A.S. Medvedko, O.I. Meshkov, S.I. Mishnev, I.I. Morozov, N.Yu. Muchnoi, V.V. Neufeld, S.A. Nikitin, I.B. Nikolaev, I.N. Okunev, A.P. Onuchin, S.B. Oreshkin, I.O. Orlov, A.A. Osipov, S.V. Peleganchuk, S.G. Pivovarov, P.A. Piminov, V.V. Petrov, A.O. Poluektov, I.N. Popkov, V.G. Prisekin, A.A. Ruban, V.K. Sandyrev, G.A. Savinov, A.G. Shamov, D.N. Shatilov, B.A. Shwartz, E.A. Simonov, S.V. Sinyatkin, Yu.I. Skovpen, A.N. Skrinsky, V.V. Smaluk, A.V. Sokolov, A.M. Sukharev, E.V. Starostina, A.A. Talyshev, V.A. Tayursky, V.I. Telnov, Yu.A. Tikhonov, K.Yu. Todyshev, G.M. Tumaikin, Yu.V. Usov, A.I. Vorobiov, A.N. Yushkov, V.N. Zhilich, V.V. Zhulanov, A.N. Zhuravlev, et al. (KEDR Collab.). Measurement of  $\text{Br}(J/\psi \rightarrow \eta_c \gamma)$  at KEDR. // 4th Int. Workshop on Charm Physics (Charm2010), Oct. 21-24, 2010, IHEP, Beijing, China.
- [571] Reva V.B., Parkhomchuk V.V., Yang X.D. Using electron cooling for obtaining ion beam with high intensity and brightness. // Intern. Conference (HB2010), September 27 - October 1, 2010, Morschach, Switzerland. - Proceedings, MOPD25.
- [572] Vostrikov V. Electron cooling application for cancer therapy accelerator facility. // Workshop "Physics for Health in Europe", 2-4 February 2010, CERN, Switzerland.
- [573] Levichev E., Parkhomchuk V., Skrinsky A., Vostrikov V. A project of the hadron cancer therapy synchrotron with electron cooling. // 2nd Joint Asian Accelerator Workshop (2JAAWS), 29-30 November, POSTECH, Pohang, Korea.
- [574] Chupyra A.G., Gusev G.A., Kondaurov M.N., Medvedko A.S., Singatulin Sh.R. BINP capacitive and ultrasonitronic hydrostatic level sensors. // Proc. of the 11th Intern. Workshop on Accelerator Alignment (IWAA10), DESY, 13-17 September 2010, DESY, Hamburg.
- [575] Volk J., Shiltsev V. (Fermilab), Chupyra A., Kondurov M., Singatulin S. (BINP), Stetler L. (South Dakota School of Mines and Technology). Hydrostatic level systems at Fermilab and DUSEL. // Proc. of the 11th Intern. Workshop on Accelerator Alignment (IWAA10), 13-17 September 2010, DESY, Hamburg.
- [576] Batrakov A., Fatkin G., Ilyin I., Logatchev P., Pavlenko A., Sazanskiy V. The structure and hardware of control system for power linear accelerator. // IASTED Intern. Conference on Automation, Control and Instrumentation Technology (ACIT-CDA-2010), June 2010, Novosibirsk, Russia. - Proceedings, P.164-167.
- [577] Арбузов В.С., Бирючевский Ю.А., Горникер Э.И., Завьялов Н.В., Козырев Е.В., Кондаков А.А., Крутихин С.А., Куркин Г.Я., Мотыгин С.В., Осипов В.Н., Петров В.М., Сердобинцев Г.В., Сметанин М.Л., Тельнов А.В., Чернов К.Н., Шориков И.В. ВЧ генератор для резонансного ускорителя электронов на основе коаксиального резонатора. // «XII Харитоновские чтения» Международной научной конференции по проблемам физики высоких плотностей энергии, 19 - 23 апреля 2010, РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров, Нижегородской обл. - С.28-32.
- [578] Davydenko V., Ivanov A., Kolmogorov A., Zelenski A. Production of high brightness H- beam by charge exchange of hydrogen atom beam in sodium jet. // 2nd Intern. Symposium on Negative Ions and Sources, November 16-19, 2010, Takayama, Gifu, Japan. - Book of Abstracts, P.50.
- [579] Kuznetsov A.S., Belchenko Yu.I., Burdakov A.V., Davydenko V.I., Ivanov A.A., Konstantinov S.G., Mekler K.I., Sanin A.L., Sorokin I.N., Sulyaev Yu.S., Taskaev S.Yu. Status and prospects



- of vacuum insulated tandem accelerator (VITA). // 21st Intern. Conference on the Application of Accelerators in Research and Industry, 2010, USA. - Book of Abstracts, 2010, P.175.
- [580] Sarff J.S., Abdrashitov G.F., Alfer A., Amarli A.F., Anderson J.K., et al. Overview of results in the MST reversed field pinch experiment. // 23rd IAEA Fusion Energy Conference, 11-16 October 2010, Daejeon, Republic of Korea. - Abstracts, P.21-22.
- [581] Bayanov B., Burdakov A., Ivanov A., Kuznetsov A., Taskaev S. Accelerator based epithermal neutron source for boron neutron capture therapy. // Physics for Health in Europe Workshop, 2-4 February 2010, CERN - Switzerland. - Book of Abstracts, P.11.
- [582] Алейник В.И., Бурдаков А.В., Григорьева Э.В., Давыденко В.И., Иванов А.А., Каныгин В.В., Кузнецов А.С., Макаров А.Н., Пахомова Ю.В., Сорокин И.Н., Таскаев С.Ю. Характеристики и возможности ускорительного источника эпитепловых нейтронов ИЯФ СО РАН. // Материалы IV Всероссийского Национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов "Радиология-2010", 25-27 мая 2010, Москва. - С.18-19.
- [583] Aleynik V.I., Bayanov B.F., Burdakov A.V., Kuznetsov A.S., Makarov A.N., Sinitskii S.L., Taskaev S.Yu. The time-of-flight technique for the neutron spectrum measurement on VITA-facility. // 3rd Intern. Conference "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy", June 7-11, 2010, Kyiv, Ukraine. - Book of Abstracts, P.138-139.
- [584] Sauerwein W., Kulakov V., Lipengolts A., Taskaev S., Doll C. The ISTC BNCT task force. // 14th Intern. Congress on Neutron Capture Therapy, October 25-29, 2010, Buenos Aires, Argentina. - Program and Abstracts, P.35.
- [585] Aleinik V., Burdakov V., Davydenko V., Ivanov A., Kanygin V., Kuznetsov A., Makarov A., Sorokin I. and Taskaev S. BINP accelerator based epithermal neutron source. // Proc. of 14th Intern. Congress on Neutron Capture Therapy. October 25-29, 2010, Buenos Aires, Argentina. - P.441-444.
- [586] Taskaev S., Bayanov B., Chudaev V., Kandiev Ya., Kashaeva E., Malyshkin G. A protective subsurface container for activated target holding and temporary storage. // Proc. of 14th Intern. Congress on Neutron Capture Therapy. October 25-29, 2010, Buenos Aires, Argentina. - P.503-506.
- [587] Kandiev Ya., Kashaeva E., Malyshkin G., Taskaev S., Bayanov B. Optimization of the target of an accelerator-driven neutron source through Monte Carlo numerical simulation of neutron and gamma transport by the PRIZMA code. // Proc. of 14th Intern. Congress on Neutron Capture Therapy. October 25-29, 2010, Buenos Aires, Argentina. - P.507-510.
- [588] Aleinik V., Bayanov B., Burdakov V., Makarov A., Sinitskiy S., Taskaev S. New technical solution for use the time-of-flight technique to measure neutron spectra. // Proc. of 14th Intern. Congress on Neutron Capture Therapy. October 25-29, 2010, Buenos Aires, Argentina. - P.511-514.
- [589] Sauerwein W., Kulakov V., Lipengolts A., Taskaev S., Doll C. The ISTC BNCT task force. // Proc. of 14th Intern. Congress on Neutron Capture Therapy. October 25-29, 2010, Buenos Aires, Argentina. - P.535.
- [590] Caldwell A., Xia G.X., Assmann R.W., Zimmermann F., Lotov K.V., Pukhov A.M. A proposed experiment on proton driven plasma wakefield acceleration. // 1st Intern. Particle Accelerator Conference, 2010, Kyoto, Japan. - Abstracts, P.402.
- [591] Lotov K.V., Maslov V.I., Onishchenko I.N. Long sequence of relativistic electron bunches as a driver in wakefield method of charged particles acceleration in plasma. // Intern. Conference-School on Plasma Physics and Controlled Fusion, Alushta, 2010. - Abstracts, P.18.
- [592] Maslov V.I., Lotov K.V., Onishchenko I.N. Vesnovskaya, M.S., Svistun E.N. Mechanism of plasma wakefield excitation by a nonresonant sequence of relativistic electron bunches with repetition frequency less than plasma frequency. // Intern. Conference-School on Plasma Physics and Controlled Fusion, Alushta, 2010, Abstracts, P.122.
- [593] Lotov K.V., Maslov V.I., Onishchenko I.N., Vesnovskaya M.S. New mechanism of instability development of relativistic electron beam in plasma, determined by its electron focusing/defocusing. // Intern. Conference-School on Plasma Physics and Controlled Fusion, Alushta, 2010. - Abstracts, P.128.



- [594] Пушкарева А.Н., Измерение температуры плазмы методом томсоновского рассеяния на установке ГДЛ. // *Материалы XLVII Международной научной студенческой конференции "Студент и научно-технический прогресс"*, Новосибирск, 2010. - С.172.
- [595] Зайцев К.В. Эксперименты в поддержку теории вихревого удержания плазмы. // *Материалы XLVII Международной научной студенческой конференции "студент и научно-технический прогресс"*, Новосибирск, 2010.
- [596] Юров Д.В. Исследование энергетического спектра пучка отрицательных ионов водорода. // *Тезисы XLVIII Международной научной студенческой конференции "Студент и научно-технический прогресс"*, Новосибирск, 2010.
- [597] Simonen T.C., Anikeev A., Bagrynsky P., Beklemishev A., Ivanov A., Lizunov A., Maximov V., Prikhodko V., and Tsidulko Yu. In: *Innovative Confinement Concepts Workshop, 2010*, Princeton University, Princeton, NJ.
- [598] Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Ivanenko V.G. Makarov, M.A., Sinitsky S.L. Influence of diode geometry and voltage pulse profile on REB parameters of U-2 accelerator. // *8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 2010.* - Abstracts, Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.102.
- [599] Postupaev V.V., Arzhannikov A.V., Batkin V.I., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kuklin K.N., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Sorokina N.V., Sudnikov A.V., Sulyaev Yu.S., and Vyacheslavov L.N. Experiments with gradual-energy-growth electron beam at GOL-3. // *8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia.* - Abstracts, Novosibirsk: BINP SB RAS, 2010, P.104.
- [600] Snytnikov A.V., Astrelin V.T., Burdakov A.V. Vshivkov, V.A., Dudnikova G.I. 3D Particle-in-cell simulation of the beam-plasma system. // *8th Intern. Conf. on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, Novosibirsk, Russia, 2010.* - Abstracts, P.109.
- [601] Astrelin V.T., Burdakov A.V., Grigoriev S.V., Kandaurov I.V., Koval N.N., Teresov A.D. An influence of grid fields on beam characteristics in a diode with grid stabilization of plasma emitting surface // *16th Intern. Symposium on High Current Electronics, Tomsk: Publishing house of the IAO SB RAS, 2010.* - Abstracts, P.15-18.
- [602] Grigoryev S.V., Astrelin V.T., Devjatkov V.N., Kandaurov I.V., Koval N.N., Kozyrev A.V., Moskvina P.V., Teresov A.D. Generation of submillisecond electron beam in the diode with the grid plasma cathode and the plasma anode generated by the asymmetrical reflective discharge // *16th Intern. Symposium on High Current Electronics, Tomsk: Publishing house of the IAO SB RAS, 2010.* - Abstracts, P.19-22.
- [603] Teresov A.D., Astrelin V.T., Devjatkov V.N., Gavrilov N.V., Grigoriev S.V., Kandaurov I.V., Koval N.N. Investigation of characteristics of sub-millisecond electron source with the plasma cathode and the opened boundary of anode plasma // *16th Intern. Symposium on High Current Electronics, Tomsk: Publishing house of the IAO SB RAS, 2010.* - Abstracts, P.92-95.
- [604] Truney Yu.A., Avrorov A.P., Astrelin V.T., Burdakov A.V., Bykov P.V., Derevyankin G.E., Kandaurov I.V., Yarovoy V.A. A prototype long-pulse electron beam injector for GOL-3 multimirror plasma trap // *16th Intern. Symposium on High Current Electronics, Tomsk: Publishing house of the IAO SB RAS, 2010.* - Abstracts, P.156-158.
- [605] Ivanov A.A., Burdakov A.V., Kruglyakov E.P. Modern magnetic mirrors and their fusion prospects // *37th EPS Conference on Plasma Physics, Ireland, 2010.* - I2.105.
- [606] Postupaev V.V., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Batkin V.I., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kuklin K.N., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Rovenskikh A.F., Shoshin A.A., Sinitsky S.L., Sklyarov V.F., Sorokina N.V., Sudnikov A.V., Sulyaev Yu.S. Vyacheslavov L.N. Experiments with "thin" electron beam at GOL-3 // *37th EPS Conference on Plasma Physics, Ireland, 2010.* - P1.1080.
- [607] Sadykov Vladislav, Mezentseva Natalia, Usoltsev Vladimir, Sadovskaya Ekaterina, Ishchenko Arkady, Pavlova Svetlana, Bespalko Yulia, Kharlamova Tamara, Zevak Ekaterina, Salanov Aleksei, Krieger Tamara, Bobrenok Oleg, Uvarov Nikolai, Okhlupin Yury, Smorygo Oleg, Smirnova

- Alevtina, Singh Prabhakar, Vlasov Aleksandr, Korobeynikov Mikhail, Bryazgin Aleksandr, Kalinin Peter, Arzhannikov Andrei. SOFC composite cathodes based on perovskite and fluorite structures. // Proc. of 9th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, 29 June - 2 July 2010, Lucerne, Switzerland. - Chapter 10. - P.4-16.
- [608] Sadykov V.A., Usoltsev V.V., Fedorova Yu.E., Mezentseva N.V., Smorygo O.L., Bobrenok O.F., Kalinin P.V., Arzhannikov A.V., Vlasov A., Korobeynikov M. V., Bryazgin A.A., Ulikhin A. IT SOFC with functionally graded cathode designed on metallic NiAl foam. // E-MRS Fall Meeting, 13-17 September 2010, Warsaw, Poland.
- [609] Kuznetsov S.A., Paulish A.G., Gelfand A.V., Fedorinin V.N. Implementation of novel type of IR-THz receivers based on matrix structures of optoacoustic cells. // 40th European Microwave Conference, September 28-30, 2010, Paris, France. - P.61-64.
- [610] Kuznetsov S.A., Navarro-Cía M., Gelfand A.V., Fedorinina N.I., Arzhannikov A.V., Paulish A.G., Beruete M., Falcone F., and Sorolla M. Ultra-thin subterahertz absorbers based on high-impedance metasurfaces. // 4th Intern. Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics "Metamaterials-2010", September 13-18, 2010, Karlsruhe, Germany. - Abstracts, P.119-121.
- [611] Sorolla M., Beruete M., Navarro-Cía M., Falcone F., Campillo I., Kuznetsov S.A. Extraordinary transmission metamaterials: from millimeter-waves to terahertz. // 4th Intern. Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics "Metamaterials-2010", September 13-18, 2010, Karlsruhe, Germany. - Abstracts, P.660-662.
- [612] Sorolla M., Beruete M., Navarro-Cía M., Falcone F., Campillo I., Kuznetsov S.A. Extraordinary-transmission-based devices. // Proc. of the 2nd Intern. Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics META'10, February 22-25, 2010, Cairo, Egypt.
- [613] Kruglyakov E.P., Burdakov A.V., Ivanov A.A. Evolution of mirrors in Novosibirsk: past, present and future. // Intern. Conference-School on Plasma Physics and Controlled Fusion and 4th Intern. Workshop on the Role of Electric Fields in Plasma Confinement in Stellarators and Tokamaks, Ukraine, 2010, - Book of Abstracts of Alushta-2010, P.6.
- [614] Popov S.S., Vyacheslavov L.N., Ivantsivsky M.V., Burdakov A.V., Kasatov A.A., Polosatkin S.V., Postupaev V.V. Two-pulse Thomson scattering system for measurements of spatial dynamics of electron distribution function in multi-mirror trap GOL-3. // Intern. Conference-School on Plasma Physics and Controlled Fusion and 4th Intern. Workshop on the Role of Electric Fields in Plasma Confinement in Stellarators and Tokamaks, Ukraine, 2010. - Book of Abstracts of Alushta-2010, P.209.
- [615] Burdakov A.V., Avrorov A.P., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Batkin V.I., Burmasov V.S., Bykov P.V., Vyacheslavov L.N., Derevyankin G.E., Ivanenko V.G., Ivanov I.A., Ivantsivsky M.V., Kandaurov I.V., S.A. Kuznetsov, Kuklin K.N., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Sudnikov A.V., Sulyaev Yu.S., Timofeev I.V., Sklyarov V.F., Sorokina N.V., Shoshin A.A., Trunev Yu.A. New experiments on the GOL-3 multiple mirror trap. // Proc. of 23rd IAEA Fusion Energy Conference, 11-16 October 2010, Daejeon, Korea. - EXC/P4-03.
- [616] Kruglyakov E.P., Burdakov A.V., and Ivanov A.A. Progress in studies of magnetic mirror and their prospects. // Proc. of 23rd IAEA Fusion Energy Conference, 11-16 October 2010, Daejeon, Korea. - OV/P-6.
- [617] Berkaev D.E., Shatunov P.Yu. The automation system of the electron-positron collider VEPP-2000. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia.
- [618] Berkaev D.E., Shatunov P.Yu. VEPP-2000 - new electron-positron collider at BINP. // 13th ISTS SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia.
- [619] Belikov O., Cheblakov P., Kasaev A., Kozak V., Podgorny F., Stankevich A. Control system for injection channels of VEPP-2000 collider. // 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 Sept., 2010, Budker INP, Novosibirsk, Russia.

- [620] Koop I., Levichev E., Nikitin S., Piminov P., Sinyatkin S., Shatilov D., et al. The Super-B project accelerator status [Electronic resource]. // 1st Intern. Particle Accelerator Conference (IPAC'10), Kyoto, Japan, 23 - 28 May, 2010. - Kyoto: Kyoto Intern. Conf. Centre, Japan, 2010. - P.1518-1520 IPAC-2010-TUPEB003, Jun 2010.
- [621] Голковский М.Г., Батаев И.А., Журавина Т.В. Поверхностное легирование титана танталом и ниобием. // *Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых: Наука. Технологии. Инновации*, 3 - 5 декабря 2010, НГТУ, Новосибирск. - С.188-189.
- [622] Golkovski. M.G., Zhuravina T.V., Bataev I.A., and Bataev V.A. Formation of alloyed layer of Ta-Nb-Ti system on the titanium substrate with using of focused electron beam injected in atmosphere. // 10th International Conference on Modification of Materials with Particle beams and Plasma Flows, Tomsk: Publishing house of the IAO SB RAS, 2010. - Proceedins, P.616-619.
- [623] Golkovski M.G., Poletika I.M., Krilova T.A., Tetiutskaya M.V., and Makarov S.A. Vacuum free electron beam fused deposition of multifunctional coatings on steel substrates. // 10th International Conference on Modification of Materials with Particle beams and Plasma Flows, Tomsk: Publishing house of the IAO SB RAS, 2010. - Proceedings, P.508-510.
- [624] Krilova T.A., Poletika I.M., Golkovski M.G., Ivanov Yu.F., and Teresov A.D. The combination of electron beam treatment technologies for forming the strengthening coatings on steel substrate. // 10th Intern. Conference on Modification of Materials with Particle beams and Plasma Flows, Tomsk: Publishing house of the IAO SB RAS, 2010. - Proceedings, P.121-123.
- [625] Голковский М.Г., Журавина Т.В., Батаева З.Б. Структурные изменения в сплавах системы Ti-Ta-Nb на подложке из титана, полученных с применением сфокусированного электронного пучка, выпущенного в атмосферу. // *Материалы V Международной научно-практической конференции*, 2010, Кемерово. - С.514-515.
- [626] Жунусбаева А.К., Гнусов С.Ф., Голковский М.Г. Влияние вневакуумной наплавки электронным пучком на структуру и микротвердость композиционных покрытий. // *Труды V Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения»*, 23-26 ноября 2010, Томск, НИ ТПУ. - Томск: Изд. ТПУ, 2010. - С.345-350.
- [627] Салимбаева М.К., Гнусов С.Ф., Голковский М.Г. Влияние числа проходов релятивистского электронного пучка на структурно-фазовое состояние и микротвердость покрытий на основе быстрорежущей стали. // *Труды V Международной научно-технической конференции "Современные проблемы машиностроения"*, 23-26 ноября 2010, Томск, НИ ТПУ. - Томск: Изд. ТПУ, 2010. - С.387-391.
- [628] Kuksanov N.K., Golubenko Yu.I., Nemytov P.I., Salimov R.A., Fadeev S.N., Lavruhkin A.V., Korchagin A.I., Kogut D.S., Semenov A.M. High energy electron accelerators in cross-linking of cables and pipes. // 1st Intern. Symposium on Polymer Modification with High Energy Electrons, 24-26 November, 2010, Dresden, Germany.
- [629] Гончаров В.Б., Бардаханов С.П., Корчагин А.И., Цырульников П.Г., Низовский А.И. Радиационно-термический синтез нанопорошков металлов, оксидов и нанесенных катализаторов. *Труды VII Международной конференции "Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах"*, 2010, Томск. - Статья в сборнике, P.68-73.
- [630] Ancharov A.I., Aulchenko V.M., Baryshev V.B., Churkin I.N., Gavrilov N.G., Goldenberg B.G., Knyazev B.A., Kochubei D.I., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kuper K.E., Kuper E.A., Kuzin M.V., Kuzminikh V.S., Levichev E.B., Medvedko A.S., Mezentsev N.A., Mironenko L.A., Mishnev S.I., Nikolenko A.D., Panchenko V.E., Peltek S.E., Petrov A.K., Philipchenko A.V., Pindyurin V.F., Popik V.M., Shaporenko A.D., Sharafutdinov M.R., Sheglov M.A., Sheromov M.A., Shiyankov S.V., Shmakov A.N., Skrinsky A.N., Smalyuk V.V., Ten K.A., Tolochko B.P., Ushakov V.A., Utkin A. V., Zolotarev K.V. "Siberian Synchrotron and Terahertz Radiation Center" as a center of collective using in the field of fundamental and applied research: Strategy of development of large-scale research infrastructures of the Russian Federation and cooperation with the European Union. // III Intern. Workshop, October 29, 2010, Nancy, France. - Moscow: MISaA publ. house press, 2010. - P.32-33.

- [631] Korolkov V.P., Kudryashov S.I., Ionin A.A., Makarov S.V., Seleznev L.V., Sinityn D.V., Masliy A.I., Medvedev A.Zh., Semenov R., Goldenberg B.G. Femtosecond surface nanostructuring of electroformed nickel stamps in air or in various liquids. // Intern. Conference "Fundamentals of laser assisted micro- and nanotechnologies" (FLAMN-10), July 5-8, 2010, St. Petersburg - Pushkin, Russia. - Abstracts, St. Petersburg, 2010. - P. 92.
- [632] Korolkov V.P., Poleshchuk A.G., Veiko V.P., Yarchuk M.V., Malyshev A.I., Sametov A.R., Suhii S.A., Goldenberg B.G. Study of microstructure topography and hardness evolution at direct laser writing on chrome films. // Intern. Conference "Fundamentals of Laser Assisted Micro- and Nanotechnologies" (FLAMN-10), July 5-8, 2010, St. Petersburg - Pushkin, Russia. – Abstracts, St. Petersburg, 2010. - P.90-91.
- [633] Nikitin A.K., Khitrov O.V., Kyrianov A.P., Knyazev B.A., Zhizhin G.N. Surface plasmon dispersive spectroscopy of thin films at terahertz frequencies. // XII Intern. Conference on Laser Applications in Life Sciences (LALS-2010), June 9 - 11, 2010, Oulu, Finland. - Laser Applications in Life Sciences, edited by Matti Kinnunen, Risto Myllylä. - Proc. of SPIE, 2010, Vol.7376, P.73760U-1-11.
- [634] Knyazev B.A. Imaging, spectroscopy and metrology using coherent monochromatic radiation of terahertz free electron laser. // Digest Reports of Intern. Symposium "Terahertz Radiation: Generation and Application", 26-29 July, 2010, Novosibirsk: BINP, Russia. - P.30.
- [635] Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Nikitin A.K., Nikitin V.V., Zhizhin G.N. Terahertz surface-plasmon microscopy using free-electron laser and microbolometer matrix. // Межд. симпозиум "Терагерцовое излучение: генерация и применение", 26 - 28 июля 2010, Новосибирск, ИЯФ СО РАН, Россия.
- [636] Gerasimov Vasily V., Cherkassky Valery S., Choporova Yulia Yu., Knyazev Boris A., Nikitin Alexander A., Vlasenko Maxim G. Real-time imaging systems for optical experiments with the THz free-electron lasers. // XIX Международная конференция по когерентной и нелинейной оптике, лазерам, их приложениям и технологиям (ICONO/LAT 2010), 23 - 27 августа 2010, Казань, (Татарстан), РФ.
- [637] Князев Б.А. Новосибирский лазер на свободных электронах: возможности для исследования материалов и объектов. // Школа молодых специалистов по синхротронному излучению: Программа и сборник лекций / Под ред М.В. Кузина. 11-15 ноября 2010 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 2010.
- [638] Валеев Р.Г., Романов Э.А., Деев А.Н., Мезенцев Н.А., Шарафундинов М.Р., Кривенцов В.В., Елисеев А.А. Исследование локальной структуры тонких нанокompозитных плёнок и наноструктур на основе ZnSe и ZnS методом EXAFS. // 13-й Международный симпозиум «Порядок, беспорядок и свойства оксидов» (ODPO-2010), Лоо, 16-21 сентября 2010. - Труды симпозиума, Ростов-на-Дону. - Б.м., 2010. - С.48.
- [639] Кулипанов Г.Н. Перспективы развития центров синхротронного излучения в России (44 слайда). // Доклад на XVIII Международной конференции по использованию синхротронного излучения (СИ-2010), 19 - 22 июля 2010, Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
- [640] Kulipanov G.N. Introduction plenary lecture: History and perspective of terahertz science (40 слайдов). // Intern. Symp. "Terahertz radiation: generation and application, 26-28 July, 2010, Budker INP, Novosibirsk.
- [641] Kulipanov G.N. High power THz FEL (39 слайдов). // Invited Talk: 2nd JAAWS at PAL, 28-29 November 2010, Pohang, Korea.
- [642] Bryazgin A.A., Korobeynikov M.V. Industrial electron accelerators produced in BINP and their applications. // NAARI Intern. Conference - 2010 (NIC-2010), Isotope Technologies and Applications - New Horizons, December 13-15, 2010, Powai, Mumbai, India. - Proceedings, P.52-55.
- [643] Bryazgin A. Industrial irradiation facilities based on electron accelerators developed by BINP. // International Conference on Radiation Processing, December 17-18, 2010, New Delhi, India. - Abstracts, P.29.
- [644] Калинина Т.С., Дыгало Н.Н., Черноловская Е.Л., Коробейников М.В. Определение эффективности и токсичности препаратов олигонуклеотидов с помощью тест-системы



- на основе неонатальных крыс. // Сборник тезисов ежегодной научной конференции «Фундаментальные науки – медицине», Новосибирск: ИХБ и ФМ СО РАН, 7-10 сентября 2010. - С.61.
- [645] Касаев А.С., Подгорный Ф.В. Применение высоковольтных наносекундных импульсов для дезинтеграции биологических объектов. // Всероссийская научная конференция студентов физиков, 22-29 апреля 2010, Волгоград. - Сборник тезисов ВНКСФ-16, Т.47-23 (42).
- [646] Zhmurikov E.I., Savchenko I.V., Stankus S.V., Tecchio L. Thermophysical properties measurements of graphite composites for the neutron target convertor. // 10th International Conference on Modification of Materials with Particle beams and Plasma Flows, 19-24 September, 2010, Tomsk. - (Plenary report).
- [647] Бару С.Е. Оптимальная система персонального досмотра для КПП стратегически важных объектов. // VI Международная конференция «Технические средства противодействия терроризму и криминальным взрывам», С.Петербург, 2010. - Сборник трудов, С.91-101.
- [648] Moog E.R., Abliz M., Boerste K., Buffington T., Capatina D., Dejus R.J., Doose C., Hasse Q., Ivanyushenkov Y., Jaski M., Kasa M., Kim S.H., Kustom R., Trakhtenberg E., Vasserman I., Xu J.Z., Mezentsev N.A., Syrovatin V.M. Development status of a superconducting undulator for the advanced photon source (APS) [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), Kyoto, 23 - 28 May, 2010. - Kyoto: Kyoto Intern. Conf. Center, 2010. - P.3198-3200.
- [649] Dadoun O., Chaikovska I., Lepereq P., Poirier F., Variola A., Rinolfi L., Vivoli A., Chehab R., Strakhovenko V., Xu C. The baseline positron production and capture scheme for CLIC [Electronic resource]. // The 1st Intern. Particle Accelerator Conf. (IPAC'10), Kyoto, 23 - 28 May, 2010. - Kyoto: Kyoto Intern. Conf. Center, 2010. - P.2389-2391.
- [650] Dobson M., ..., Bogdanchikov A., Korol A., Zaytsev A., et al. IT infrastructure design and implementation considerations for the Atlas TDAQ system. // Poster at 5th Intern. Conference on Software and Data Technologies, 22-24 July, 2010, Athenes, Greece.
- [651] Valsan M.L., ..., Bogdanchikov A., Korol A., Zaytsev A., et al. Role based access control system in the ATLAS experiment. // Poster at 18th Intern. Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics, 18-22 October, 2010, Taipei, Taiwan.
- [652] Кузнецов А.С. Ускорительный источник нейтронов для нейтронозахватной терапии и других приложений. // XXI Совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния, 16-19 ноября 2010, Российский научный центр «Курчатовский институт», Москва.
- [653] Епифанов Д.А., Akhmetshin R.R., Anisyonkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Barkov L.M., Bashtovoy N.S., Bondar A.E., Bragin A.V., Dneprovsky L.V., Eidelman S.I., Epshteyn L.B., Fedotovitch G.V., Grebenuk A.A., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Karpov S.V., Kazanin V.F., Khazin B.I., Kozyrev A.N., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Pestov Yu.N., Pirogov S.A., Pivovarov S.G., Popov A.S., Popov Yu.S., Redin S.I., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenenkov A.E., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Smolina E.V., Solodov E.P., Talyshev A.A., Titov V.M., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V., Zaytsev A.S. Electromagnetic calorimeters of the CMD-3 detector. // XIV Intern. Conference on Calorimetry in High Energy Physics (Calor 2010), 10-14 May, 2010. Beijing, China.
- [654] Дудников А.В. Бабайлов С.П. Релаксационные свойства перспективных ЯМР контрастов - ультрадисперсных гидрогелей магнитомягкого феррита. Труды Всероссийской конференции «Физическая химия 2010», июнь 2010, Туапсе. - С.36.
- [655] Дудников А.В. Исследование времяразрешенной микроволновой люминесценции и биодеградации ФМР - контрастирующего нанофосфора K16. // Труды Международной конференции «Наноструктуры для биологии и медицины», июль 2010, Новосибирск: ИХБФМ. - С.30.
- [656] Khriplovich I.B. Capture of dark matter by the Solar System. Simple estimates. // Intern. Conference of V.N Gribov memory, June, Trieste, Italy; [E-print: ArXiv:1004.3171 [hep-ex]].
- [657] Kuper K.E., Kvasov A.A., Prueel E.R., Ten K.A., Zarko V.E. High resolution X-ray computed tomography of low-contrast samples with the use of synchrotron radiation. // 6th World Congress on Industrial Process Tomography, 6-9 September, 2010, Beijing, China.



## ПРЕПРИНТЫ

- 1 В.В. Петров, Ю.А. Пупков. Испытания в ИЯФ радиационной стойкости материалов, используемых при создании магнитных систем ускорителей. // Новосибирск, 2010, 32с, Препринт: ИЯФ 2010-1.
- 2 В.Л. Ауслендер, А.А. Брызгин, В.А. Горбунов, И.В. Горнаков, Е.Н. Кокин, Г.И. Кузнецов, А.Н. Лукин, И.Г. Макаров, С.А. Максимов, Н.В. Матяш, Г.Н. Острейко, А.Д. Панфилов, Г.В. Сердобинцев, А.В. Сидоров, В.М. Радченко, Н.Д. Ромашко, В.В. Тарнецкий, М.А. Тиунов, В.О. Ткаченко, Б.Л. Факторович, К.Н. Чернов, В.Г. Ческидов. // Разработка ускорителя ИЛУ-14 и испытание его прототипа. // Новосибирск, 2010, 31с, Препринт: ИЯФ 2010-2.
- 3 Б.Ф. Баянов, Я.З. Кандиев, Е.А. Кашаева, Г.Н. Малышкин, С.Ю. Таскаев, В.Я. Чудаев. Защитный заглубленный контейнер для выдержки и временного хранения активированных мишеней. // Новосибирск, 2010, 14с, Препринт: ИЯФ 2010-4.
- 4 S. Eidelman, S. Ivashyn, A. Korchin, G. Pancheri and O. Shekhovtsova.  $e^+e^-$  annihilation to  $\pi^0\pi^0\gamma$  and  $\pi^0\eta\gamma$  as a source of information on scalar and vector mesons. // Novosibirsk, 2010, 35p, Preprint: Budker INP 2010-5.
- 5 В.М. Петров, Н.В. Митянина. Определение параметров ВЧ системы накопителя Сибирь-2, обеспечивающих устойчивость продольного движения электронов для синфазных дипольных колебаний. // Новосибирск, 2010, 43с, Препринт: ИЯФ 2010-6.
- 6 Е.Ю. Колесников, Ю.А. Цидулко. Стохастический перенос плещущихся ионов. // Новосибирск, 2010, 28с, Препринт: ИЯФ 2010-15.
- 7 I.I. Averbukh, V.P. Belov, V.I. Davydenko, P.P. Deichuli, A.A. Ivanov, V.A. Kapitonov, A.A. Podymnugin A.V. Sorokin, I.V. Shikhovtsev. Single aperture 70 mA, 50 keV radio-frequency proton source. // Novosibirsk, 2010, 12p, Preprint: Budker INP 2010-24.
- 8 М.Г. Козлов, А.В. Резниченко, В.С. Фадин. Проверка условия реджезации глюона в следующем за главным порядке. Кварковая часть. // Новосибирск, 2010, 27с, Препринт: ИЯФ 2010-26.
- 9 Е.И. Жмуриков, И.В. Савченко, С.В. Станкус, Tescchio L. Измерения теплофизических свойств графитовых композитов для конвертора нейтронной мишени. // Новосибирск, 2010, 23с, Препринт: ИЯФ 2010-27.
- 10 В.П. Дружинин, Л.В. Кардапольцев, В.А. Таюрский. Генератор событий двухфотонного процесса  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- R(J^{PC}=0^{++})$  с учетом радиационных поправок в режиме с однократным мечением. // Новосибирск, 2010, 23с, Препринт: ИЯФ 2010-30.
- 11 В.В. Репков. Высоковольтные линейные усилители на транзисторах. Новосибирск, 2010, 18с, Препринт: ИЯФ 2010-32.
- 12 Э.А. Бибердорф, Н.И. Попова. Несимметричная спектральная проблема. // Новосибирск, 2010, 48с, Препринт: ИЯФ 2010-39.
- 13 Анашин В.В., Аульченко В.М., Балдин Е.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Басок И.Ю., Бару С.Е., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Блинов В.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Бондарь А.Е., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Днепровский Л.В., Жилич В.Н., Жуланов В.В., Карпов Г.В., Карпов С.В., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Кудрявцев В.Н., Кузьмин А.С., Куликов В.Ф., Купер Э.А., Левичев Е.Б., Малышев В.М., Максимов Д.А., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мучной Н.Ю., Никитин С.А., Николаев И.Б., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Пивоваров С.Г., Полуэктов А.О., Поспелов Г.Э., Присекин В.Г., Рубан А.А., Родякин В.А., Савинов Г.А., Сковпень Ю.А., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Снопков Р.Г., Соколов А.В., Сухарев А.М., Талышев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю., Усов Ю.В., Харламова Т.А., Шамов А.Г., Шварц Б.А., Шехтман Л.И., Шушаро А.И., Юшков А.Н. Детектор КЕДР. // Новосибирск 2010, Препринт ИЯФ 2010-40.
- 14 С.А. Никитин, И.Б. Николаев. Расчет интенсивности тушековских электронов в накопителе ВЭПП-4М. // Новосибирск, 2010, 24с, Препринт: ИЯФ 2010-42.

- 15 Rudenko A.S., Khriplovich I.B.  $K^+_{13}\gamma$  decay revisited: branching ratio and T-odd momenta correlation. E-print: ArXiv:1012.0147 [hep-ex].
- 16 Khriplovich I.B. Capture of dark matter by the Solar System. Simple estimates. // E-print: ArXiv:1004.3171 [hep-ex].
- 17 Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Sokolov A., Akimov D., Alexandrov I., Breskin A. Geiger mode APD performance in a cryogenic two-phase Ar avalanche detector based on THGEMs. // E-print: arXiv:1003.1597.
- 18 Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Sokolov A., Akimov D., Alexandrov I., Breskin A. Direct observation of avalanche scintillations in a THGEM-based two-phase Ar avalanche detector using Geiger-mode APD. // E-print: arXiv:1005.5216.
- 19 Bondar A.E., Dmitriev V.F., Milstein A.I., Strakhovenko V.M. // Nucleon polarization in the process  $e^+e^- \rightarrow N\bar{N}$  near threshold. // arXiv:1012.4638 [hep-ph].
- 20 Abe T., Bondar A.E., Buzulutskov A., Shekhtman L., Telnov V., et al. (ILD Concept Group - Linear Collider Collab.). The International Large Detector: Letter of Intent. // arXiv:1006.3396 [hep-ex].
- 21 Aushev T., Bondar A., et al. Physics at Super B Factory. // arXiv:1002.5012 [hep-ex].
- 22 Guler H., ..., Arinstein K., Aulchenko V., Eidelman S., Kuzmin A., Poluektov A., Zhilich V., Zhulanov V., et al. (Belle Collab.). Study of the  $K^+\pi^+\pi^-$  final state in  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+\pi^+\pi^-$  and  $B^+ \rightarrow \psi' K^+\pi^+\pi^-$ . // arXiv, 1009.5256 [hep-ex].
- 23 Abe T., Arinstein K., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhilich V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Belle II technical design report. // E-print: arXiv:1011.0352 [physics.ins-det].
- 24 Pakhlova G., ..., Arinstein K., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). // arXiv:1011.4397 [hep-ex].
- 25 Bashkanov M., Shwartz B., et al. Exclusive Measurement of the  $pp \rightarrow nn p^+p^-$  Reaction at 1.1 GeV. // arXiv:1012.1463 [nucl-ex].
- 26 Asner D., Shwartz B., et al. (By Heavy Flavor Averaging Group), et al. Averages of b-hadron, c-hadron, and  $\tau$ -lepton Properties. // arXiv:1010.1589 [hep-ex].
- 27 Sciascia B., ..., Sibidanov A.L., et al. (KLOE Collaboration). Kaon physics with KLOE. // E-print: arXiv:1005.2873 [hep-ex].
- 28 Babusci D., ..., Lukin P.A., et al. (KLOE2 Collaboration). Proposal for taking data with the KLOE-2 detector at the DAFNE collider upgraded in energy. // E-print: arXiv:1007.5219 [hep-ex].
- 29 Webber D.M., ..., Logashenko I.B., et al. (MuLan Collaboration). Measurement of the Positive Muon Lifetime and Determination of the Fermi Constant to Part-per-Million Precision. // E-print: arXiv:1010.0991 [hep-ex].
- 30 Sanchez P. del Amo, ..., Blinov V.E., Bukin A.D., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. (BABAR Collab.). Observation of the Rare Decay  $B^+ \rightarrow K^+\pi^0\pi^0$ . // E-print: arXiv:1005.3717 [hep-ex].
- 31 Sanchez P. del Amo, ..., Blinov V.E., Bukin A.D., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. (BABAR Collab.). Study of  $B \rightarrow \pi l \nu$  and  $B \rightarrow r l \nu$  decays and determination of  $|V_{ub}|$ . // E-print: arXiv:1005.3288 [hep-ex].
- 32 Lees J.P., ..., Blinov V.E., Bukin A.D., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Onuchin A.P., Serednyakov, S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu., et al. (BABAR Collab.). Measurement of the Branching fraction for  $D^+_s \rightarrow \tau^+\nu_\tau$  and extraction of the decay constant  $f_{D_s}$ . // E-print: arXiv:1003.3063 [hep-ex].
- 33 Akhmetshin R.R., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Barkov L.M., Baru S.E., Bashtovoy N.S., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Fedotov G.V., Gabyshev N.I., Grebenuk A.A., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Karpov S.V., Kazanin V.F., Khazin B.I., Koop I.A., Krokovny P.P., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Lysenko A.P., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S.,

- Perevedentsev E.A., Popov A.S., Redin S.I., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Shatunov Yu.M., Shwartz B.A., Sibidanov A.L., Snopkov I.G., Solodov E.P., Yudin Yu.V., Zaytsev A.S., et al. (CMD-2 and CMD-2 Collab.). Measurement of  $\phi(1020)$  mezon leptonic width with CMD-2 detector at VEPP-2M Collider. // E-print: arXiv:1010.4878 [hep-ex].
- 34 Cherepanov V., Eidelman S. CVC and  $\tau \rightarrow \eta \eta' \pi \pi^0 \nu_\tau$ . // E-print: arXiv:1012.2564 [hep-ex].
- 35 Brambilla N., Eidelman S., Levichev E. Heavy quarkonium: progress, puzzles, and opportunities. // E-print: arXiv:1010.5827 [hep-ph].
- 36 Eidelman S. Two-photon interactions at Belle and BaBar. // 13th Intern. Conference on Elastic and Diffractive Scattering (Blois Workshop) "Moving Forward into the LHC Era". / M. Deile, S. Eidelman, et al. - Feb 2010. - 514p. // E-print: arXiv:1002.3527 [hep-ph], P.330.
- 37 Lee R.N., Terekhov I.S. Application of the DRA method to the calculation of the four-loop QED-type tadpoles. // arXiv:1010.6117 [hep-ph].
- 38 Lee R.N., Smirnov A.V. Analytic epsilon expansions of master integrals corresponding to massless three-loop form factors and three-loop g-2 up to four-loop transcendentality weight. // arXiv:1010.1334 [hep-ph].
- 39 Blinov A.E., Rudenko A.S. Upper limits on electric and weak dipole moments of W-boson. // arXiv:1010.2018 [hep-ph].
- 40 Biagini M., Koop I., Levichev E.B., Nikitin S.A., Piminov P.A., Shatilov D.N., Sinyatkin S.V., et al. SuperB Progress Reports - Accelerator. // E-print: arXiv:1009.6178, 2010 [hep-ph].
- 41 Nikolenko D.M., et al., Mishnev S.I., Muchnoi N.Yu., Neifeld V.V. Two-photon exchange and elastic scattering of positrons/electrons on the proton. // PoS ICHEP2010:164, 2010 [hep-ph].
- 42 V.P. Druzhinin, L.A. Kardapolzev, V.A. Tayursky. The event generator for the two-photon process  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- R(J^{PC}=0^+)$  in the single-tag mode. // E-print: 5969v1 2010, 28 Oct 2010 [hep-ph].
- 43 Eidelman S.I., Fedotov G.V., Kuraev E.A., Sibidanov A.L. Monte-Carlo Generator Photon Jets for the process  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ . // E-print: arXiv: 1009.3390 [hep-ex].
- 44 O.V. Zhironov, A.S. Pikovsky and D.L. Shepelyansky. Quantum compacton vacuum. // E-print: arXiv: 1005.0778v1 [cond-mat.stst-mech] (2010).
- 45 Wolski A., Korostelev M., Panagiotidis K., Thorley A., Malyshev O., Collomb N., Lucas J., Postlethwaite S., Zolotarev K. ILC damping ring design studies at the Cockcroft Institute. // Daresbury, 2010. - 91 p. – [ILC-NOTE-2010-057; Cockcroft-10-57].
- 46 G. Aad, ..., V.A. Kazanin, G.M. Kolachev, A. Korol, K.Yu. Kotov, V. Malyshev, A.L. Maslennikov, I. Orlov, V.S. Panin, S.V. Peleganchuk, K. Skovpen, A.G. Schamov, A. Soukharev, A. Talyshev, Yu. A. Tikhonov, A. Zaytsev, et al. (ATLAS Collab.). Measurement of inclusive jet and dijet cross sections in proton-proton collisions at 7 TeV centre-of-mass energy with the ATLAS detector. // E-print: arXiv:1009.5908, 2010.
- 47 G. Aad, ..., V.A. Kazanin, V. Malyshev, A.L. Maslennikov, I. Orlov, S.V. Peleganchuk, A.G. Schamov, K. Skovpen, A. Soukharev, A. Talyshev, Yu. A. Tikhonov, A. Zaytsev, et al. (ATLAS Collab.). Studies of the performance of the ATLAS detector using cosmic-ray muons. // E-print: arXiv:1011.6665, 2010.
- 48 G. Aad, ..., V.B. Bobrovnikov, A. Bogdanchikov, V.A. Kazanin, G.M. Kolachev, A. Korol, V. Malyshev, A.L. Maslennikov, I. Orlov, S.V. Peleganchuk, K. Skovpen, A.G. Schamov, A. Soukharev, A. Talyshev, Yu. A. Tikhonov, A. Zaytsev, et al. (ATLAS Collab.). Measurement of underlying event characteristics using charged particles in pp collisions at  $\sqrt{s} = 900$  GeV and 7 TeV with the ATLAS detector. // E-print: arXiv:1012.0791, 2010.
- 49 G. Aad, ..., V.B. Bobrovnikov, A. Bogdanchikov, V.A. Kazanin, G.M. Kolachev, A. Korol, V. Malyshev, A.L. Maslennikov, I. Orlov, S.V. Peleganchuk, K. Skovpen, A.G. Schamov, A. Soukharev, A. Talyshev, Yu. A. Tikhonov, A. Zaytsev, et al. (ATLAS Collab.). Measurement of the top quark-pair production cross section with ATLAS in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV. // E-print: arXiv:1012.1792, 2010.
- 50 G. Aad, ..., V.B. Bobrovnikov, A. Bogdanchikov, V.A. Kazanin, G.M. Kolachev, A. Korol, V. Malyshev, A.L. Maslennikov, I. Orlov, S.V. Peleganchuk, K. Skovpen, A.G. Schamov, A. Soukharev, A. Talyshev, Yu. A. Tikhonov, A. Zaytsev, et al. (ATLAS Collab.). Search for diphoton events with large

- missing transverse energy in 7 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector. // E-print: arXiv:1012.4272, 2010.
- 51 G. Aad, ..., V.B. Bobrovnikov, A. Bogdanchikov, V.A. Kazanin, G.M. Kolachev, A. Korol, V. Malyshev, A.L. Maslennikov, I. Orlov, S.V. Peleganchuk, K. Skovpen, A.G. Schamov, A. Soukharev, A. Talyshev, Yu. A. Tikhonov, A. Zaytsev, et al. (ATLAS Collab.). Measurement of the inclusive isolated prompt photon cross section in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector. // E-print: arXiv:1012.4389, 2010.
- 52 G. Aad, ..., V.B. Bobrovnikov, A. Bogdanchikov, V.A. Kazanin, G.M. Kolachev, A. Korol, V. Malyshev, A.L. Maslennikov, I. Orlov, S.V. Peleganchuk, K. Skovpen, A.G. Schamov, A. Soukharev, A. Talyshev, Yu. A. Tikhonov, A. Zaytsev, et al. (ATLAS Collab.). Charged particle multiplicities in pp interactions measured with the ATLAS detector at the LHC. // E-print: arXiv:1012.5104, 2010.
- 53 G. Aad, ..., V.B. Bobrovnikov, A. Bogdanchikov, V.A. Kazanin, G.M. Kolachev, A. Korol, V. Malyshev, A.L. Maslennikov, I. Orlov, S.V. Peleganchuk, K. Skovpen, A.G. Schamov, A. Soukharev, A. Talyshev, Yu. A. Tikhonov, A. Zaytsev, et al. (ATLAS Collab.). Measurement of the production cross section for W bosons in association with jets in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the ATLAS detector. // E-print: arXiv:1012.5382, 2010.
- 54 G. Aad, ..., V.B. Bobrovnikov, A. Bogdanchikov, V.A. Kazanin, G.M. Kolachev, A. Korol, V. Malyshev, A.L. Maslennikov, I. Orlov, S.V. Peleganchuk, K. Skovpen, A.G. Schamov, A. Soukharev, A. Talyshev, Yu. A. Tikhonov, A. Zaytsev, et al. (ATLAS Collab.). Measurement of the centrality dependence of  $J/\psi$  yields and observation of Z production in lead-lead collisions with the ATLAS detector at the LHC. // E-print: arXiv:1012.5419, 2010.
- 55 Aamodt K., ALICE Collab., Pestov Yu., et al. Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at midrapidity in Pb-Pb collisions at radical  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV. // E-print: arXiv:1012.1657, 2010.
- 56 Shepelyansky D.L., Zhirov O.V. Towards Google matrix of brain. // E-print: arXiv:1002.4583v2 [cond-mat.dis-nn] (2010).
- 57 Zhirov A.O., Zhirov O.V., Shepelyansky D.L. Two-dimensional ranking of Wikipedia articles. // E-print: arXiv:1006.4270v1 [cs.IR] (2010).
- 58 Rudenko A.S., Khriplovich I.B. Can CP-violation be observed in heavy-ion collisions? // E-print: ArXiv:1003.3339 [hep-ex].
- 59 В.М. Аульченко, О.Л. Белобородова, А.В. Бобров, А.Е. Бондарь, В.Н. Жилич, В.В. Жуланов, В.Н. Кудрявцев, А.Г. Шапов, Л.И. Шехтман. Детекторы на основе трех-каскадных ГЭУ в системе регистрации рассеянных электронов эксперимента КЕДР на накопителе ВЭПП-4М. // Новосибирск 2010, Препринт ИЯФ 2010-41.

## Авторефераты 2010

1. ХИЛЬЧЕНКО Александр Дмитриевич. Аппаратная инфраструктура измерительных и управляющих систем плазменных установок ИЯФ СО РАН. // 01.04.01- приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора технических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
2. МЕШКОВ Олег Игоревич. Методы оптической диагностики электрон-позитронных пучков и взаимодействия плазмы с сильноточным электронным пучком. // 01.04.08 - физика плазмы; 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
3. СМАЛЮК Виктор Васильевич. Подавление коллективных неустойчивостей пучка в электрон-позитронных накопителях. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
4. НЕМЫТОВ Петр Иванович. Системы питания и управления серии высоковольтных



- промышленных ускорителей электронов с мощностью выведенного пучка сотни киловатт. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора технических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
5. ТОЛОЧКО Борис Петрович. Исследование IN SITU быстропротекающих твердофазных химических превращений рентгенографическими методами синхротронного излучения. // Специальность 02.00.21 - химия твердого тела. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора химических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  6. ГРАБОВСКИЙ Андрей Владимирович. Мебиусовская форма ядра БФКЛ. // 01.04.02 - теоретическая физика. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  7. БЕЛИКОВ Олег Витальевич. Источники стабилизированного тока для корректирующих магнитов в ускорителях и накопителях заряженных частиц. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  8. ТИМОФЕЕВ Игорь Валериевич Вадим Вадимович. Нелинейная динамика мощного электронного пучка в процессе развития плазменной турбулентности. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  9. СУЛЯЕВ Юлий Сергеевич. Экспериментальное исследование нагрева и удержания плазмы в многопробочной ловушке ГОЛ-3 по нейтронной эмиссии. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  10. БЕРКАЕВ Дмитрий Евгеньевич. Инжекция электронов и позитронов в коллайдер ВЭПП-2000. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  11. БАЛДИН Евгений Михайлович. Измерение произведения электронной ширины J/ψ-мезона на вероятность распада в лептоны. // 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  12. ХАРЛАМОВ Алексей Георгиевич. Измерение сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  в области энергии ниже 1 ГэВ с детектором СНД. // 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  13. КОРОБЕЙНИКОВ Михаил Васильевич. Комплекс электронно-лучевой обработки на основе модернизированного ускорителя ИЛУ-6 и технологии облучения медицинской продукции. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  14. БОНДАРЕНКО Алексей Владимирович. Метод выпуска пучка из синхротрона с помощью многослойного медно-железного экрана. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  15. ЕРОХИН Александр Иванович. Вывод и рекуперация энергии в индуктивных и ёмкостных накопителях. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.
  16. ПИМИНОВ Павел Алексеевич. Численное моделирование и оптимизация параметров нелинейного движения частиц в циклическом ускорителе // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2010, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.



**Участие в конференциях**

1. 3rd International Workshop "High Energy Physics in the LHC Era", January 4 - 8, 2010, Valparaiso, Chile.
2. Workshop "Physics for Health in Europe", Workshop Physics for Health in Europe Workshop, 2 - 4 February 2010, CERN - Switzerland.
3. XXXVII Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС, Звенигород, 8 - 12 февраля 2010, Звенигород, Россия.
4. 12th Vienna Conference on Instrumentation, 15-20 February, 2010, Vienna, Austria.
5. 2nd International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META'10), February 22 - 25, 2010, Cairo, Egypt.
6. THz-Bio Workshop, March 9 - 10, SNU, Korea.
7. XLIV Зимняя Школа ПИЯФ, Март 9 - 14, 2010, Рощино, Россия.
8. Забобахинские научные чтения: X Международная конференция 15 - 19 марта, 2010, Снежинск, Россия.
9. International Linear Collider Workshop (LCWS10), March 26 - 30, 2010, Beijing, China.
10. Deep-Inelastic Scattering Workshop, April, 2010, Florence, Italy.
11. «XII Харитоновские чтения» Международной научной конференции по проблемам физики высоких плотностей энергии, 19 - 23 апреля 2010, Саров, Россия.
12. Всероссийская научная конференция студентов физиков, 22 - 29 апреля 2010, Волгоград, Россия.
13. XIV International Conference on Calorimetry in High Energy Physics (Calor 2010), 10 - 14 May, 2010. Beijing, China.
14. 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC'10), 23 - 28 May, 2010, Kyoto, Japan.
15. IV Всероссийский национальный конгресс лучевых диагностов и терапевтов (Радиология-2010), 25 - 27 мая 2010, Москва.
16. XIII SuperB General Meeting, 30 May - 5 June, 2010, Isola d'Elba.
17. International Conference "Chaotic Modeling and Simulation" (Chaos 2010), June 1 - 4, 2010, Chania, Crete, Greece.
18. 3rd International Conference "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy", June 7 - 11, 2010, Kyiv, Ukraine.
19. XII International Conference on Laser Applications in Life Sciences (LALS-2010), June 9 - 11, 2010, Oulu, Finland.
20. 9th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, 29 June - 2 July 2010, Lucerne, Switzerland.
21. IASTED International Conference on Automation, Control and Instrumentation Technology (ACIT-CDA-2010), June 2010, Novosibirsk, Russia.
22. Всероссийская конференции «Физическая химия 2010», июнь 2010, Туапсе, Россия.
23. International Conference of V.N Gribov memory, June, Trieste, Italy.
24. 8-я Международная конференция по открытым магнитным системам для удержания плазмы 5 - 9 июля 2010, Новосибирск, ИЯФ СО РАН, Россия.
25. International Conference "Hadron Structure and QCD: from Low to High Energies", July 5 - 9, 2010, Gatchina, Russia.
26. LX International Conference on Nuclear Physics, July 6 - 9, 2010, St.Petersburg.

27. XVIII Международная конференция по синхротронному излучению (СИ-2010), 19 - 22 июля 2010, Новосибирск, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, Россия.
28. 5th International Conference on Software and Data Technologies, 22 - 24 July, 2010, Athenes, Greece.
29. 35th International Conference of High Energy Physics (ICHEP 2010), July 22 - 28, 2010, Paris, France.
30. Международный Симпозиум "Терагерцовое излучение: генерация и применение", 26 - 31 июля 2010, Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, Россия.
31. Международная конференция «Наноструктуры для биологии и медицины», июль 2010, Новосибирск: ИХБФМ, Россия.
32. 18th International Vacuum Congress, August 23 - 27, 2010, Beijing, China.
33. XIX Международная конференция по когерентной и нелинейной оптике, лазерам, их приложениям и технологиям (ICONO/LAT 2010), 23 - 27 августа 2010, Казань, (Татарстан), РФ.
34. 13th ISTC SAC Seminar "New Perspectives of High Energy Physics", 1 - 5 September, 2010, Novosibirsk: BINP SB RAS, Russia.
35. 35th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2010), 5 - 10 September, 2010, Rome, Italy.
36. 6th World Congress on Industrial Process Tomography, 6-9 September, 2010, Beijing, China.
37. Ежегодная научная конференция «Фундаментальные науки – медицине», Новосибирск: ИХБ и ФМ СО РАН, 7-10 сентября 2010, Россия.
38. International Conference "Diffraction 2010", September 10 - 15, 2010, Otranto (Lecce), Italy.
39. E-MRS Fall Meeting, 13-17 September 2010, Warsaw, Poland.
40. 11th International Workshop on Accelerator Alignment (IWAA10), 13 - 17 September 2010, DESY, Hamburg.
41. 4th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics "Metamaterials-2010", September 13 - 18, 2010, Karlsruhe, Germany.
42. 10th International Conference on Modification of Materials with Particle beams and Plasma Flows, 2010, 19 - 24 September, Tomsk, Russia.
43. X Международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» (АПЭП-2010), 22-24 сентября 2010, Новосибирск, Россия.
44. 40th European Microwave Conference, September 28-30, 2010, Paris, France.
45. RuPAC XXII: Russian Particle Accelerator Conference, September 27 – October 1, 2010, IHEP Protvino, Russia.
46. International Conference (HB2010), September 27 - October 1, 2010, Morschach, Switzerland.
47. XIV SuperB General Meeting, 27 September - 1 October, 2010, LNF.
48. 11th International Workshop on Tau Lepton Physics, September, 2010, Manchester, UK.
49. 19th Intern. Spin Physics Symposium (SPIN-2010), September 27 - October 2, 2010, Juelich, Germany.
50. I Съезд врачей лучевой диагностики СФО «Достижения, перспективы и основные направления развития лучевой диагностики в Сибири», 7-8 октября 2010, Новосибирск, Россия.
51. 3-я Российская школа молодых специалистов по синхротронному излучению, 11 - 15 октября 2010, ИЯФ СО РАН, Новосибирск, Россия.
52. 23rd IAEA Fusion Energy Conference, 11 - 16 October 2010, Daejeon, Republic of Korea.
53. International Workshop on Linear Colliders (IWLC2010), ECFA-CLIC-ILC Joint Meeting, October 18-22, 2010, CERN, Switzerland.
54. 18th International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics, 18-22 October, 2010, Taipei, Taiwan.
55. 4th International Workshop on Charm Physics (Charm2010), October 21-24, 2010, IHEP, Beijing, China.

56. 14th International Congress on Neutron Capture Therapy, October 25 - 29, 2010, Buenos Aires, Argentina.
57. 17th International Symposium on Laser Spectroscopy (SOLS 2010), November 4 - 5, 2010, Daejeon, Korea.
58. 2nd International Symposium on Negative Ions and Sources, November 16 - 19, 2010, Takayama, Gifu, Japan.
59. XXI Совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния, 16-19 ноября 2010, Российский научный центр «Курчатовский институт», Москва.
60. V Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения», 23-26 ноября 2010, Томск.
61. BINP-KEK Workshop on Noble Liquid TPC, 24 - 25 November, 2010, KEK, Japan.
62. 1st International Symposium on Polymer Modification with High Energy Electrons, 24-26 November, 2010, Dresden, Germany.
63. 2nd Joint Asian Accelerator Workshop (2JAAWS), 29-30 November, POSTECH, Pohang, Korea.
64. Всероссийская научная конференции молодых ученых: Наука. Технологии. Инновации, 3 - 5 декабря 2010, НГТУ, Новосибирск, Россия.
65. III Всероссийское совещание «Прецизионная физика и фундаментальные физические константы», 17-10 декабря 2010, Санкт-Петербург, Россия.
66. Международный симпозиум "Пятьдесят лет по пути к квантовым единицам СИ", 6 декабря 2010, Санкт-Петербург.
67. NAARI International Conference (NIC-2010): Isotope Technologies and Applications - New Horizons, December 13-15, 2010, Powai, Mumbai, India.
68. Рабочее совещание коллаборации РЭД, 23 декабря 2010, МИФИ, Москва, Россия.
69. International Conference "Channaling 2010", Ferrara, Italy.
70. 21st International Conference on the Application of Accelerators in Research and Industry, 2010, USA.
71. International Conference-School on Plasma Physics and Controlled Fusion and the 4th International Workshop on the Role of Electric Fields in Plasma Confinement in Stellarators and Tokamaks, 2010, Alushta, Ukraine.
72. Innovative Confinement Concepts Workshop, 2010, Princeton University, Princeton, NJ.
73. VII Международной конференции "Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах", 2010, Томск.
74. 16th International Symposium on High Current Electronics, 2010, Tomsk.
75. 37th EPS Conference on Plasma Physics, 2010, Ireland.
76. XLVII Международная научная студенческая конференция "Студент и научно-технический прогресс", Новосибирск, 2010.
77. VI Международная конференция «Технические средства противодействия терроризму и криминальным взрывам», 2010, С.Петербург, Россия.

## Соглашения о сотрудничестве между ИЯФ и зарубежными лабораториями

№	Название лаборатории	Область сотрудничества	Дата	Координаты
1	2	3	4	
1	<i>Daresbury</i> <i>Англия</i>	Генерация и использование СИ.	1977	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>И. Мунро (Daresbury)</i>
2	<i>BESSY</i> <i>Германия</i>	Создание вигглеров для BESSY-2.	1993	<i>А. Скринский,</i> <i>Н. Мезенцев (ИЯФ);</i> <i>Э. Яшке (BESSY)</i>
3	<i>Иссл. центр</i> <i>Россендорф</i> <i>(Германия)</i>	Физические исследования источника нейтронов на базе магнитной ловушки.	1994	<i>Э. Кругляков,</i> <i>А. Иванов (ИЯФ);</i> <i>К. Ноак (Германия)</i>
4	<i>Ядерный центр</i> <i>"Карлсруэ"</i> <i>(Германия)</i>	1. Разработка концептуального проекта и базы данных для нейтронного источника на основе ГДЛ. 2. Моделирование процессов в диверторе ИТЕР.	1994	<i>Э. Кругляков,</i> <i>А. Иванов,</i> <i>А. Бурдаков (ИЯФ);</i> <i>Г. Кесслер (Германия)</i>
5	<i>GSI</i> <i>(Германия)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: электронное охлаждение, электрон-ионные коллайдеры.	1995	<i>Ю. Шатунов,</i> <i>В. Пархомчук (ИЯФ);</i> <i>Х. Эйхоф (GSI)</i>
6	<i>DESY</i> <i>(Германия)</i>	Физика элементарных частиц, синхротронное излучение, физика и технология ускорителей, электроника и экспериментальное оборудование.	1995	<i>А. Скринский,</i> <i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>А. Вагнер,</i> <i>К. Шерф (DESY)</i>
7	<i>CIEMAT</i> <i>(Испания)</i>	Ускорительные технологии и физика плазмы.	2007	<i>Е. Левичев (ИЯФ);</i> <i>Ж. Рубио (CIEMAT)</i>
8	<i>CELLS</i> <i>(Испания)</i>	Сотрудничество в области использования нового оборудования для источников СИ.	2008	<i>Е. Левичев (ИЯФ),</i> <i>Джоан Бордас</i> <i>и Орпинелл (CELLS)</i>
9	<i>INFN</i> <i>(Италия)</i>	Разработка интенсивного источника радио-активных ионных пучков для экспериментов по физике ядра.	1984	<i>П. Логачев (ИЯФ);</i> <i>Л. Теккио (INFN)</i>
10	<i>Ун-т Милана</i> <i>(Италия)</i>	Теоретические и численные исследования динамического хаоса в классической и квантовой механике.	1991	<i>А. Скринский,</i> <i>В. Соколов (ИЯФ);</i> <i>Т. Монтегацца,</i> <i>Дж. Казати (Италия)</i>
11	<i>INFN-LNF</i> <i>(Италия)</i>	Разработка проекта коллайдера DAFNE-II	2004	<i>Е. Левичев (ИЯФ);</i> <i>С. Бискари (INFN-LNF)</i>
12	<i>Ун-т Падуи</i> <i>(Италия)</i>	Разработка криогенных детекторов для экспериментов по физике нейтрино.	2008	<i>Ю. Тихонов.</i> <i>А. Бондарь (ИЯФ);</i> <i>А. Гудлиелми (Италия)</i>
13	<i>Национальный</i> <i>ядерный центр.</i> <i>Парк ядерных</i> <i>технологий</i> <i>(Казахстан)</i>	Разработка и использование промышленных ускорителей, генерация и использование нейтронных пучков, разработка источников СИ, ВЧ-генераторов.	2007	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>К. Кадыржанов,</i> <i>А. Кусаинов</i> <i>(Казахстан)</i>

№	1	2	3	4
14	<i>Национальный ядерный центр. Национальный университет им. Аль-Фараби (Казахстан)</i>	Создание и развитие многоцелевого научно-исследовательского комплекса радиационных технологий и терагерцового излучения.	2009	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ); К. Кадыржанов, Б. Жумагулов (Казахстан)</i>
15	<i>Институт современной физики, Ланчжоу (КНР)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: электронное охлаждение, ВЧ-системы.	2000	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); С. Янг (КНР)</i>
16	<i>Компания Воер, г. Шеньжень (КНР)</i>	Использование электронного ускорителя ИЛУ-10, обмен специалистами, информацией и экспериментальным оборудованием.	2005	<i>А. Брызгин (ИЯФ); Лео Ли (КНР)</i>
17	<i>SINAP (КНР)</i>	Исследования в области промышленных электронных ускорителей.	2006	<i>А. Брызгин (ИЯФ); Ху Хонкью (КНР)</i>
18	<i>ИНЕР (КНР)</i>	Работа китайских учёных на установках ИЯФ, работа учёных из ИЯФ на установках ИНЕР.	2007	<i>А. Скринский (ИЯФ); Х. Чен (ИНЕР)</i>
19	<i>Центр индуст. и техн. кооперации с Россией и Белоруссией пров. Хейлуцзян (КНР)</i>	Обмен информацией о разработках ИЯФ и потребностях китайских предприятий в технологиях и продукции.	2009	<i>Д. Григорьев (ИЯФ); Чжан Хун-Вей (КНР)</i>
20	<i>POSTECH (Корея)</i>	Создание ускорителей пучков, дополнительных устройств, эксперименты по СИ.	1992	<i>А. Скринский, Н. Мезенцев (ИЯФ); Х. Ким (POSTECH)</i>
21	<i>KAERI (Корея)</i>	Создание ЛСЭ и ускорителя-рекуператора.	1999	<i>Н. Винокуров (ИЯФ); Б.С. Ли (KAERI)</i>
22	<i>BNL, Брукхевен (США)</i>	1. Измерение магнитной аномалии мюона. 2. Совместные работы по спину.	1991 1993	<i>Л. Барков (ИЯФ); Дж. Банс (BNL) Ю. Шатунов (ИЯФ); С. Озаки (BNL)</i>
23	<i>ANL, Аргонн (США)</i>	1. Эксперименты с поляризованной газовой мишенью. 2. Аппаратура для синхротронного излучения (СИ).	1988 1993	<i>Л. Барков (ИЯФ); Р. Холт (ANL) Г. Кулипанов, А. Скринский (ИЯФ); Шеной (США)</i>
24	<i>Ун-т Питтсбурга (США)</i>	Эксперименты на ВЭПП-2М и ф-фабрика.	1989	<i>С. Эйдельман, Е. Солодов (ИЯФ); В. Савинов (США)</i>
25	<i>Ун-т Дюка (США)</i>	Лазеры на свободных электронах.	1992	<i>Н. Винокуров (ИЯФ); Й. Ву (Duke)</i>
26	<i>BNL, Брукхевен (США)</i>	Сотрудничество по электрон-ионным коллайдерам.	1993	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); И. Бен-Зви (США)</i>
27	<i>FERMILAB (США)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: охлаждение, системы конверсии.	1995	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); О. Финли (FERMILAB)</i>
28	<i>FERMILAB (США)</i>	Обмен учёными и инженерами для проведения исследований.		<i>А. Скринский (ИЯФ); П. Оддоне (FERMILAB)</i>



№	1	2	3	4
29	<i>SLAC, Стэнфорд (США)</i>	Получение субмикронных пучков, получение интенсивных позитронных пучков, разработка элементов В-фабрики, детекторов, ВЧ-генераторов на базе магнитонов.	1994	<i>А. Скринский (ИЯФ); Персис Дрэл (SLAC)</i>
30	<i>Институт физики плазмы АНЧР (Чехия)</i>	Сотрудничество в области исследований по физике плазмы и диагностики плазмы.	2008	<i>А. Иванов (ИЯФ); П. Храска (ЧР)</i>
31	<i>CERN (Швейцария)</i>	1. Научно-исследовательские и конструкторские работы по детекторам для большого адронного коллайдера LHC.  2. Создание элементов комплекса LHC.	1992  1996	<i>А. Бондарь, Ю. Тихонов (ИЯФ); Т. Накада, П. Йенни (CERN) В. Анашин (ИЯФ); Л. Эванс (CERN)</i>
32	<i>Институт Поля Шерера (Швейцария)</i>	Сотрудничество в области физики частиц.	2009	<i>Д. Григорьев (ИЯФ); Д. Месот (Институт Поля Шерера)</i>
33	<i>CERN (Швейцария)</i>	Исследования и развитие технологии 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>RIKENSpring-8 (Япония)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей и синхротронного излучения.	1996	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ); Х. Камицубо (Япония)</i>
36	<i>КЕК (Япония)</i>	Проведение исследований в области физики ускорителей и смежных областях, разработка детекторов элементарных частиц.	1995	<i>А. Скринский (ИЯФ); А. Сузуки (КЕК)</i>
37	<i>Центр плазменных исследований Ун-та Цукуба (Япония)</i>	Исследования на открытых ловушках.	2007	<i>А. Иванов (ИЯФ); Т. Имай (Япония)</i>

## Состав научных сотрудников

### Члены Российской академии наук

#### Академики:

*Барков Лев Митрофанович*  
*Кругляков Эдуард Павлович*  
*Кулипанов Геннадий Николаевич*  
*Скринский Александр Николаевич*

#### Члены-корреспонденты РАН:

*Бондарь Александр Евгеньевич*  
*Диканский Николай Сергеевич*  
*Димов Геннадий Иванович*  
*Пархомчук Василий Васильевич*  
*Хриплович Иосиф Бенционович*  
*Шатунов Юрий Михайлович*

### Дирекция

#### Директор:

*Скринский Александр Николаевич*

#### Советник РАН:

*Кругляков Эдуард Павлович*

#### Заместители директора по науке:

*Иванов Александр Александрович*  
*Кулипанов Геннадий Николаевич*  
*Левичев Евгений Борисович*  
*Тихонов Юрий Анатольевич*

#### Учёный секретарь:

*Васильев Алексей Владимирович*

### Учёный совет

- |   |                 |
|---|-----------------|
| 1. Академик, председатель                   | Скринский А.Н.  |
| 2. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Иванов А.А.     |
| 3. Академик, зам. председателя              | Кулипанов Г.Н.  |
| 4. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Левичев Е.Б.    |
| 5. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Тихонов Ю.А.    |
| 6. Кандидат физ.-мат. наук, уч. секретарь   | Васильев А.В.   |
| 7. Кандидат технических наук                | Анашин В.В.     |
| 8. Доктор физ.-мат. наук, профессор         | Аржанников А.В. |
| 9. Академик                                 | Барков Л.М.     |
| 10. Кандидат физ.-мат. наук                 | Блинов В.Е.     |
| 11. Член-корр. РАН                          | Бондарь А.Е.    |
| 12. Доктор физ.-мат. наук, профессор        | Бурдаков А.В.   |

- |  |   |
|--|---|
| 13. Доктор физ.-мат. наук, профессор   | Винокуров Н.А.  |
| 14. Член-корр. РАН                     | Диканский Н.С.  |
| 15. Член-корр. РАН                     | Димов Г.И.  |
| 16. Доктор физ.-мат. наук              | Дружинин В.П.   |
| 17. Доктор физ.-мат. наук              | Кооп И.А.   |
| 18. Академик                           | Кругляков Э.П.  |
| 19. Доктор технических наук            | Купер Э.А.  |
| 20. Доктор физ.-мат. наук              | Логачев П.В.  |
| 21. Кандидат технических наук          | Медведко А.С.   |
| 22. Доктор физ.-мат. наук              | Мезенцев Н.А.   |
| 23. Член-корр. РАН                     | Пархомчук В.В.  |
| 24. Доктор технических наук, профессор | Салимов Р.А.  |
| 25. Доктор физ.-мат. наук, профессор   | Середняков С.И.   |
| 26. Доктор физ.-мат. наук, профессор   | Фадин В.С.  |
| 27. Доктор физ.-мат. наук              | Хазин Б.И.  |
| 28. Член-корр. РАН                     | Хриплович И.Б.  |
| 29. Член-корр. РАН                     | Шатунов Ю.М.  |
| 30. Кандидат технических наук          | Шиянков С.В.  |
| 31. Кандидат физ.-мат. наук            | Таскаев С.Ю. – представитель<br>профсоюзной организации   |
| 32. Кандидат физ.-мат. наук            | Старостенко А.А. – представитель<br>Совета молодых ученых |

## Секции учёного совета по направлениям

### Ускорители для прикладных целей

Кулипанов Г.Н. (предс.)	Кузнецов Г.И.	Салимов Р.А.
Горбунов В.А. (секр.)	Куксанов Н.К.	Скринский А.Н.
Мигинский С.В. (секр.)	Купер К.Э.	Сухина Б.Н.
Анашин В.В.	Купер Э.А.	Ткаченко В.О.
Антохин Е.И.	Куркин Г.Я.	Трибендис А.Г.
Брызгин А.А.	Левичев Е.Б.	Тувик А.Ф.
Винокуров Н.А.	Медведко А.С.	Тумайкин Г.М.
Востриков В.А.	Мезенцев Н.А.	Фадеев С.Н.
Гольденберг Б.Г.	Немытов П.И.	Чернякин А.Д.
Диканский Н.С.	Николенко А.Д.	Ческидов В.Г.
Золотарев К.В.	Пархомчук В.В.	Чуркин И.Н.
Иванов А.А.	Петриченков М.В.	Шатунов Ю.М.
Князев Б.А.	Петров В.М.	Шевченко О.А.
Колмогоров В.В.	Пиндюрин В.Ф.	Шеромов М.А.
Корчагин А.И.	Ракшун Я.В.	Шкаруба В.А.

## Физика плазмы и проблемы УТС

Иванов А.А. (предс.)	Димов Г.И.	Попов С.С.
Кандауров И.В. (секр.)	Давыденко В.И.	Поступаев В.В.
Аникеев А.В.	Иванов И.А.	Приходько В.В.
Аржанников А.В.	Капитонов В.А.	Санин А.Л.
Астрелин В.Т.	Константинов С.Г.	Синицкий С.Л.
Ахметов Т.Д.	Котельников И.А.	Скринский А.Н.
Багрянский П.А.	Кругляков Э.П.	Солдаткина Е.И.
Беклемишев А.Д.	Кузнецов А.С.	Соломахин А.Л.
Бельченко Ю.И.	Кулипанов Г.Н.	Сорокин А.В.
Бурдаков А.В.	Лизунов А.А.	Суляев Ю.С.
Бурмасов В.С.	Лотов К.В.	Таскаев С.Ю.
Васильев А.В.	Меклер К.И.	Тимофеев И.В.
Волосов В.И.	Мурахтин С.В.	Хильченко А.Д.
Воскобойников Р.В.	Полосаткин С.В.	Шиянков С.В.
Вячеславов Л.Н.		

## Встречные пучки

Пархомчук В.В. (предс.)	Краснов А.А.	Петров В.М.
Петров В.В. (секр.)	Кулипанов Г.Н.	Рева В.Б.
Анашин В.В.	Купер Э.А.	Салимов Р.А.
Барков Л.М.	Куркин Г.Я.	Симонов Е.А.
Беркаев Д.Е.	Левичев Е.Б.	Скринский А.Н.
Бондарь А.Е.	Логачев П.В.	Смалюк В.В.
Винокуров Н.А.	Медведко А.С.	Солодов Е.П.
Воблый П.Д.	Мезенцев Н.А.	Старостенко А.А.
Горникер Э.И.	Мешков О.И.	Тихонов Ю.А.
Гуров С.М.	Мишнев С.И.	Тумайкин Г.М.
Диканский Н.С.	Нестеренко И.Н.	Хазин Б.И.
Ерохин А.И.	Никитин С.А.	Шатилов Д.Н.
Золотарев К.В.	Онучин А.П.	Шатунов Ю.М.
Карпов Г.В.	<b>Острейко Г.Н.</b>	Шатунов П.Ю.
Киселев В.А.	Переведенцев Е.А.	Шварц Д.Б.
Колмогоров В.В.	Пестриков Д.В.	Шиянков С.В.
Кооп И.А.		

## Физика элементарных частиц

Бондарь А.Е. (предс.)	Кравченко Е.А.	Сибиданов А.Л.
Страховенко В.М. (секр.)	Кузьмин А.С.	Силагадзе З.К.
Аульченко В.М.	Левичев Е.Б.	Сковпень Ю.И.
Ачасов М.Н.	Ли Р.Н.	Скринский А.Н.
Барков Л.М.	Логачев П.В.	Смалюк В.В.
Бару С.Е.	Логашенко И.Б.	Соколов А.В.
Беркаев Д.Е.	Лукин П.А.	Соколов В.В.
Блинов А.Е.	Мальшев В.М.	Солодов Е.П.
Блинов В.Е.	Масленников А.Л.	Тодышев К.Ю.
Бузулуцков А.Ф.	Мильштейн А.И.	Таюрский В.А.
Васильев А.В.	Мучной Н.Ю.ц	Тельнов В.И.
Воробьев А.И.	Николенко Д.М.	Терехов И.С.
Голубев В.Б.	Онучин А.П.	Тихонов Ю.А.
Гребенюк А.А.	Образовский А.Е.	Топорков Д.К.
Григорьев Д.Н.	Пархомчук В.В.	Фадин В.С.
Грозин А.Г.	Пахтусова Е.В.	Федотович Г.В.
Грошев В.Р.	Пелеганчук С.В.	Хазин Б.И.
Димова Т.В.	Пестов Ю.Н.	Харламов А.Г.
Дмитриев В.Ф.	Пивоваров С.Г.	Хриплович И.Б.
Дружинин В.П.	Померанский А.А.	Черняк В.Л.
Епифанов Д.А.	Попов А.С.	Шамов А.Г.
Жилич В.Н.	Рачек И.А.	Шатунов Ю.М.
Игнатов Ф.В.	Редин С.И.	Шварц Б.А.
Катков В.М.	Рыскулов Н.М.	Шехтман Л.И.
Кирилин Г.Г.	Середняков С.И.	Эйдельман С.И.
Кооп И.А.		

## Автоматизация

Тихонов Ю.А. (предс.)	Васильев А.В.	Логашенко И.Б.
Купер Э.А. (зам. предс.)	Егорычев М.Н.	Максимова С.В.
Балдин Е.М. (секр.)	Зайцев А.С.	Медведко А.С.
Дубров С.В. (секр.)	Каплин В.И.	Мезенцев Н.А.
Алешаев А.Н.	Карнаев С.Е.	Неханевич Э.Л.
Амосов С.А.	Квашнин А.Н.	Солодов Е.П.
Аульченко В.М.	Клименко А.С.	Сухарев А.М.
Банзаров В.Ш.	Коваленко Ю.В.	Тарарышкин С.В.
Бару С.Е.	Козак В.Р.	Факторович Б.П.
Белов С.Д.	Кооп И.А.	Фроловская Н.Н.
Беркаев Д.Е.	Король А.А.	Хильченко А.Д.
Богданчиков А.Г.	Кузин М.В.	Цуканов В.М.
Болховитянов Д.Ю.	Купчик В.И.	Шатунов Ю.М.
Бузыкаев А.Р.	Курилин О.Ю.	Шувалов Б.Н.
Грозин А.Г.	Левичев Е.Б.	Шукаев А.Н.



Скринский А.Н.	2, 11, 30, 54, 78, 200, 238, 239, 240, 241, 242, 246, 358, 403, 457, 495, 496, 503, 511, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 573, 630, 13п	Арапов Л.Н.	
Анашин В.В.	238, 239, 240, 241, 242, 329, 380, 545, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п	Арбузов В.С.	
Иванов А.А.	89, 91, 131, 248, 252, 253, 255, 277, 367, 373, 387, 388, 389, 391, 417, 427, 440, 442, 443, 447, 455, 578, 579, 581, 582, 585, 597, 605, 613, 616, 7п	Аржанников А.В.	35, 103, 279, 280, 321, 322, 393, 417, 420, 428, 444, 452, 465, 598, 599, 606, 607, 608, 610, 615
Кругляков Э.П.	89, 255, 373, 387, 389, 417, 605, 613, 616	Аринштейн К.Э.	67, 72, 74, 75, 84, 105, 111, 115, 117, 118, 124, 125, 214, 215, 216, 219, 222, 223, 224, 225, 226, 22п, 23п, 24п
Кулипанов Г.Н.	17, 43, 82, 284, 292, 320, 329, 350, 457, 458, 464, 475, 630, 639, 640, 641	Астигеевич П.М.	503
Левичев Е.Б.	2, 56, 92, 238, 239, 240, 241, 242, 246, 285, 380, 517, 523, 538, 540, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 573	Астрелин В.Т.	277, 361, 378, 417, 418, 428, 454, 456, 598, 600, 601, 602, 603, 604, 606, 615
Тихонов Ю.А.	2, 167, 170, 200, 201, 212, 238, 239, 240, 241, 242, 308, 309, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 324, 325, 326, 358, 403, 412, 503, 549, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п	Астрелина К.В.	
***	***	Аульченко В.М.	16, 72, 74, 83, 84, 105, 111, 113, 115, 117, 118, 177, 181, 203, 214, 215, 216, 217, 226, 238, 239, 240, 241, 242, 331, 340, 358, 414, 503, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 630, 653, 13п, 22п, 23п, 33п, 59п
Абакумова Е.В	380, 544	Ахметов Т.Д.	391
Абдрашитов А.Г.	446	Ахметшин Р.Р.	181, 358, 653, 33п
Абдрашитов Г.Ф.	15, 446, 580	Ачасов М.Н.	30, 54, 78, 85, 88, 175, 180, 200, 304, 311, 403, 503, 544
Абдульманов В.Г.	323	***	***
Авдеева Е.Г.	49	Бабичев Е.А.	549
Авербух И.И.	447, 7п	Багрянский П.А.	13, 89, 90, 252, 261, 276, 362, 363, 364, 365, 373, 389, 390, 422, 423, 424, 425, 438, 439, 597,
Авилов М.С.	94	<b>Байер В.Н.</b>	70, 157
Авроров А.П.	418, 604, 615	Бак П.А.	513
Акбердин Р.Р.		Балдин Е.М.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Акимов А.В.	167, 244	Банзаров В.И..	181, 358, 653, 33п
Алейник В.И.	582, 583, 585, 588	Барков Л.М.	18, 29, 181, 194, 195, 358, 541, 542, 543, 653, 33п
Алиновский Н.И.		Барладян А.К.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Аникеев А.В.	13, 252, 362, 363, 364, 366, 373, 389, 390, 423, 429, 438, 597	Барняков А.Ю.	14, 238, 239, 240, 241, 242, 503, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п
Анисёнков А.В.	119, 183, 394, 653	Барняков А.М.	199
Антохин Е.И.		Барняков М.Ю.	199, 238, 239, 240, 241, 242
Аракчеев А.С.	441		

Бару С.Е.	181, 203, 206, 208, 209, 238, 239, 240, 241, 242, 549, 550, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 647, 13п, 33п	Бобылев В.Б.	442, 451
Барышев В.Б.	630	Богданчиков А.Г.	30, 49, 54, 78, 309, 326, 413, 503, 650, 651, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п
Басок И.Ю.	13п	Богомягков А.В.	2, 238, 239, 240, 241, 242, 397, 537, 538, 539, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Батазова М.А.	522	Болховитянов Д.Ю.	12
Баткин В.И.	48, 361, 428, 442, 599, 606, 615,	Бондаренко А.В.	10, 515, 14А
Батраков А.М.	38, 297, 298, 330, 383, 576	Бондарь А.Е.	72, 73, 74, 84, 105, 113, 115, 118, 125, 181, 211, 212, 213, 214, 217, 218, 219, 220, 222, 223, 224, 225, 226, 228, 229, 230, 238, 239, 240, 241, 242, 358, 414, 492, 555, 558, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 653, 13п, 17п, 18п, 19п, 20п, 21п, 23п, 24п, 33п, 59п
Баштовой Н.С.	181, 194, 358, 653, 33п	Борисов А.А.	
Баянов Б.Ф.	51, 268, 581, 583, 586, 587, 588, 3п	Ботов А.А.	49, 200, 403, 503
Безуглов В.В.	303, 499	Бочаров В.Н.	498
Беклемишев А.Д.	13, 89, 90, 252, 253, 261, 360, 374, 375, 389, 417, 421, 422, 424, 431, 434, 597	Брагин А.В.	181, 194, 358, 653, 33п
Беликов О.В.	58, 102, 251, 490, 619, 7А	Брызгунов М.И.	36, 98, 398, 488, 494, 497, 498, 516
Белобородов К.И.	30, 54, 78, 199, 200, 403, 503	Брызгин А.А.	247, 279, 280, 303, 499, 607, 608, 642, 643, 2п
Белобородова О.Л.	201, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 59п	Бублей А.В.	36, 99, 398, 488, 498
Белов В.П.	132, 248, 427, 447, 7п	Бузулуцков А.Ф.	211, 212, 522, 553, 554, 17п, 18п, 20п
Белов С.Д.		Бузыкаев А.Р.	65, 69, 71, 76, 77, 79, 80, 86, 87, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 114, 116, 126, 127, 128, 129, 188, 189, 190, 199, 210, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Белых В.В.	440	Букин Д.А.	30, 49, 54, 78, 503
Бельченко Ю.И.	579	Бурдаков А.В.	9, 164, 254, 255, 268, 277, 278, 282, 322, 361, 368, 372, 376, 377, 378, 387, 393, 417, 418, 420, 428, 432, 433, 442, 444, 448, 449, 454, 456, 462, 505, 579, 581, 582, 583, 585, 588, 599, 600, 601, 604, 605, 606, 613, 614, 615, 616
Бердюгин А.В.	30, 54, 78, 200, 403, 503	Бурмасов В.С.	361, 428, 451, 599, 606, 615
Беркаев Д.Е.	396, 491, 495, 514, 617, 618, 10А	Быков Е.В.	396
Бехтенов Е.А.	298, 301, 479, 480, 483	Быков П.В.	277, 418, 604, 615
Бирючевский Ю.А.	577	***	***
Блинов А.Е.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 39п	Васильев А.В.	30, 49, 54, 78, 102, 200, 203, 403, 503
Блинов В.Е.	2, 65, 69, 71, 76, 77, 79, 80, 86, 87, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 114, 116, 126, 127, 128, 129, 175, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 210, 238, 239, 240, 241, 242, 395, 503, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 30п, 31п		
Блинов М.Ф.	12		
Бобров А.В.	229, 230, 238, 239, 240, 241, 242, 305, 492, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 59п		
Бобровников В.С.	199, 201, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п		

Васичев С.С.		Голубев В.Б.	30, 49, 54, 65, 69, 71, 76, 77, 78, 79, 80, 86, 87, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 114, 116, 126, 127, 128, 129, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 199, 200, 210, 403, 503, 30п, 31п, 32п
Веремеенко В.Ф.	58	Голубев П.А.	
Весенев В.М.	49, 199	Голубенко Ю.И.	1, 39, 481, 493, 628
Винокуров Н.А.	10, 82, 118, 214, 285, 286, 292, 400, 457, 458, 464, 475, 496, 510, 511, 515	Гольденберг Б.Г.	17, 294, 335, 336, 339, 359, 384, 465, 630, 631, 632
Винокурова А.Н.	72, 75, 111, 115, 118, 214, 23п, 24п	Гончаров А.Д.	485, 497, 498, 516
Власенко М.Г.	287, 355, 457, 460, 461, 472, 477, 478, 496, 529, 636	Горбовский А.И.	427
Власов А.Ю.	303, 607, 608	Горбунов В.А.	247, 303, 499, 2п
Воблый П.Д.	330, 383, 436, 457, 496, 511, 523, 527	Горнаков И.В.	247, 499, 2п
Волков А.А.	2	Горникер Э.И.	577
Волков В.Н.	250	Горчаков К.М.	
Волосов В.И.	437	Грабовский А.В.	61, 135, 533, 6А
Воробьев А.И.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 653, 13п	Грамолин А.В.	29, 401
Воронин Л.А.	303	Гребенюк А.А.	181, 194, 211, 212, 358, 653, 17п, 18п, 33п
Воскобойников Р.В.		Григорьев В.Н.	102, 133, 166
Вострецов А.Г.	9	Григорьев Д.Н.	181, 204, 205, 358, 549, 653, 3п
Востриков В.А.	36, 59, 398, 486, 512, 572, 573	Гришняев Е.С.	6
Вячеславов Л.Н.	262, 263, 264, 322, 361, 420, 428, 449, 462, 599, 606, 614, 615	Грозин А.Г.	141, 142, 143
***	***	Грошев В.Р.	549
Габышев Н.И.	66, 67, 68, 73, 74, 75, 84, 104, 105, 111, 113, 115, 118, 181, 214, 215, 216, 217, 218, 220, 224, 358, 23п, 24п, 33п	Губин К.В.	245
Гальт А.А.	251, 496	Гудков Б.А.	
Гармаш А.Ю.	115, 118, 214, 23п, 24п	Гулевич В.В.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п
Генцелев А.Н.	342, 343, 345, 346, 347, 349, 359, 384	Гуров Д.С.	330
Герасимов В.В.	19, 52, 53, 289, 290, 291, 292, 293, 355, 457, 458, 460, 467, 468, 470, 472, 473, 477, 478, 529, 635, 636	Гуров С.М.	
Герасимов Р.Е.	21	Гусев Г.А.	574
Гетманов Я.В.	400, 457, 496, 510, 511	Гусев Д.В.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Глухов С.А.		Гусев Е.А.	
Глуховченко Ю.М.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570	Гусев И.А.	484
Голковский М.Г.	621, 622, 623, 624, 625, 626, 627	***	***
		Давидовский В.Г.	
		Давыденко В.И.	6, 131, 132, 248, 427, 440, 442, 443, 447, 578, 579, 582, 583, 7п
		Девятайкина Т.А.	
		Дейчули П.П.	131, 132, 248, 388, 427, 446, 447, 7п
		Дементьев Е.Н.	249, 457, 496, 511
		Деревянкин Г.Е.	418, 604, 615
		Диканский Н.С.	57, 323
		Димов Г.И.	7, 387, 435, 436
		Димова Т.В.	30, 49, 54, 78, 200, 403, 503
		Дмитриев В.Ф.	18, 29, 138, 150, 195, 542, 543, 19п

Днепровский Л.В.	653, 13п	Землянский И.М.	495
Довженко Б.А.	457, 496, 5п	Зинин Э.И.	34, 178, 386
Донин А.С.	369, 373, 389, 446	Золотарев К.В.	42, 338, 351, 380, 523, 524, 525, 630, 45п
Дорохов Д.В.		Зубарев П.В.	369, 446
Дружинин В.П.	30, 49, 54, 65, 69, 71, 76, 77, 78, 79, 80, 86, 87, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 114, 116, 126, 127, 128, 129, 174, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 200, 210, 403, 503, 551, 10п 30п, 31п, 32п, 42п	***	***
Дубровин А.Н.		Иваненко В.Г.	361, 377, 433, 598, 615
Дудников А.В.	130, 654, 655	Иваненко С.В.	425, 451
***	***	Иванов А.В.	23, 133, 166, 270, 488, 499
Елисеев А.А.	33, 295, 296, 638	Иванов И.А.	6, 254, 277, 282, 361, 372, 376, 377, 393, 428, 432, 433, 444, 599, 606, 615
Еманов Ф.А.		Иванцовский М.В.	361, 417, 428, 449, 599, 606, 614, 615
Емелёв И.С.	7, 436	Игнатов Ф.В.	95, 181, 182, 183, 198, 204, 358, 402, 653, 33п
Епифанов Д.А.	66, 68, 111, 115, 118, 181, 214, 215, 220, 358, 653, 23п, 24п, 33п	Ильин И.В.	330, 383, 576
Ерохин А.И.	5, 15А	***	***
Ершов В.В.	167	Казанин В.Ф.	181, 205, 358, 653, 33п
***	***	Кайран Д.А.	
Жилич В.Н.	67, 74, 83, 105, 111, 115, 118, 214, 216, 217, 218, 219, 222, 224, 226, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 22п, 23п, 24п, 59п	Калинин П.В.	103, 278, 279, 280, 322, 462, 607, 608
Жиров О.В.	148, 151, 152, 163, 44п, 56п, 57п	Кандауров И.В.	378, 417, 418, 454, 601, 602, 603, 604, 615
Жмуриков Е.И.	12, 94, 245, 646, 9п	Капитонов В.А.	418, 440, 442, 447, 7п
Жуков А.А.	175, 180, 380, 544	Каплин В.И.	133, 166, 269
Жуланов В.В.	16, 67, 73, 75, 104, 105, 111, 113, 115, 117, 118, 203, 214, 218, 220, 221, 225, 238, 239, 240, 241, 242, 340, 414, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 22п, 59п	Каравдина А.В.	182
Журавлев А.Н.	2, 179, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570	Кардапольцев Л.В.	200, 10п
***	***	Кармакулов К.Г.	
Забродин В.Д.		Карнаев С.Е.	2, 238, 239, 240, 241, 242, 249, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Заиграева Н.С.	457, 496, 511	Карнаков И.В.	29, 542
Зайцев А.С.	181, 183, 308, 309, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 324, 325, 326, 358, 413, 650, 651, 653, 33п, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п	Карпов Г.В.	479, 480, 13п
Запрягаев И.А.	47	Карпов С.В.	181, 194, 238, 239, 240, 241, 242, 358, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 653, 33п
Зверев С.И.		Касаев А.С.	619, 645
Зеваков С.А.	18, 29, 195, 196, 541, 542, 543	Катков В.М.	157, 535
		Квашнин А.Н.	425
		Кенжебулатов Е.К.	
		Кирилин Г.Г.	162
		Кириллов К.Ю.	363, 373
		Кирпотин А.Н.	491, 495, 514
		Киселев В.А.	2, 31, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
		Клюев В.Ф.	485, 486, 512
		Князев Б.А.	19, 25, 26, 52, 53, 82, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 355, 457, 458, 460, 461, 468, 471, 472, 473, 474, 477, 478, 496, 511, 529, 630, 633, 634, 635, 636, 637

Кобец В.В.	251, 436, 500	Кудрявцев В.Н.	13п, 59п
Коваленко Н.В.	3	Кузин М.В.	630
Коваленко Ю.В.	373, 389, 425	Кузнецов А.С.	9, 268, 579, 581, 582, 583, 585, 652
Коврижин Д.П.	200, 403, 503	Кузнецов Г.И.	247, 508, 522, 2п
Когут Д.А.	493, 628	Кузнецов С.А.	35, 103, 281, 321, 322, 345, 359, 361, 368, 384, 420, 428, 462, 465, 504, 505, 506, 507, 599, 606, 609, 610, 611, 612, 615
Козак В.Р.	396, 490, 619	Кузьмин А.С.	66, 67, 74, 75, 104, 111, 113, 115, 118, 125, 181, 214, 215, 216, 217, 221, 225, 231, 358, 414, 557, 653, 13п, 22п, 23п, 24п, 33п
Козлов М.Г.	8п	Кузьминых В.С.	380, 630
Козырев А.Н.	8, 415, 544, 653	Куклин К.Н.	254, 277, 282, 361, 393, 428, 444, 451, 599, 606, 615
Козырев Е.В.	577	Куксанов Н.К.	1, 39, 283, 493, 628
Кокин Е.Н.	303, 499, 2п	Куликов В.Ф.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п
Колесников Е.Ю.	6п	Купер К.Э.	44, 335, 336, 352, 353, 384, 630, 657
Колмогоров А.В.	578	Купер Э.А.	238, 239, 240, 241, 242, 486, 512, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 630, 13п
Колмогоров В.В.	15	Куркин Г.Я.	47, 238, 239, 240, 241, 242, 249, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 577
Колобанов Е.И.	457, 496, 511	Кусков Р.Е.	***
Колокольников Ю.М.	3		***
Кондаков А.А.	577	Лаврухин А.В.	493, 628
Кондауров М.Н.	574, 575	Лазаренко Б.А.	18, 29, 196, 542
Кондратьев В.И.	32, 294, 332, 336, 342, 343, 345, 346, 347, 384	Лапик Р.М.	
Кононов С.А.	199, 238, 239, 240, 241, 242, 416, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п	Лебедев Н.Н.	
Константинов Е.С.	485, 486, 512	Лев В.Х.	382
Константинов С.Г.	277, 485, 579	Левичев А.Е.	24
Кооп И.А.	30, 54, 78, 181, 200, 403, 495, 514, 521, 539, 620, 33п, 40п	Легкодымов А.А.	3, 50, 60, 344, 354, 385
Корепанов А.А.	513	Леонов В.В.	203, 549
Коржавина М.С.	362, 363, 373, 389, 423	Ли Р.Н.	153, 154, 155, 156, 37п, 38п
Коробейников М.В.	279, 280, 303, 499, 607, 608, 642, 644, 13А	Лизунов А.А.	13, 89, 252, 363, 373, 389, 425, 446, 587
Король А.А.	30, 49, 54, 78, 200, 308, 309, 326, 403, 413, 503, 650, 651, 46п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п	Листопад А.А.	131, 443
Корчагин А.И.	493, 628, 629	Логачев П.В.	38, 164, 244, 245, 251, 500, 576,
Кот Н.Х.	12	Логашенко И.Б.	173, 181, 358, 653, 29п, 33п
Котельников И.А.	256, 265, 266, 267, 363, 392, 417, 422, 463	Лотов К.В.	27, 40, 123, 164, 165, 271, 272, 273, 274, 306, 307, 441, 453, 526, 590, 591, 592, 593
Котов К.Ю.	238, 239, 240, 241, 242, 308, 314, 315, 317, 318, 319, 324, 325, 326, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 46п	Лукин А.Н.	3036 499
Кошуба С.В.	30, 49, 54, 78, 200,, 403, 503		
Кравченко Е.А.	199, 238, 239, 240, 241, 242, 503, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п		
Краснов А.А.	175, 180, 380, 544, 545		
Кривашин Д.С.	119		
Кривенко А.С.	445		
Крутихин С.А.	249, 577		
Крючков А.М.	498		
Крючков Я.Г.			
Кубарев В.В.	103, 321, 457, 459, 465, 466, 475, 476, 630		



Лукин П.А.	95, 134, 181, 358, 653, 28п, 33п	Мильштейн А.И.	121, 122, 138, 139, 140, 240, 19п
Лысенко А.П.	78, 181, 495, 33п	Мироненко Л.А.	496, 511, 630
Лях В.В.	3, 60, 332, 344	Митянина Н.В.	5п
***	***	Михайлов К.Ю.	181, 358, 653, 33п
Макаров А.Н.	582, 583, 585, 588	Мишагин В.В.	131, 427, 440
Макаров И.Г.	247, 499, 2п	Мишнев С.И.	2, 18, 29, 195, 196, 238, 239, 240, 241, 242, 541, 542, 543, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 630, 41п
Макаров М.А.	322, 361, 372, 377, 393, 420, 428, 432, 433, 448, 451, 462, 505, 598, 599, 606, 615	Моисеев Д.В.	369, 446
Максимов В.В.	13, 89, 252, 362, 363, 367, 370, 373, 389, 422, 439, 597	Морозов И.И.	2, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Максимов Д.А.	201, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п	Мотыгин С.В.	249, 577
Максимов С.А.	499, 2п	Мурахтин С.В.	13, 89, 362, 363, 369, 373, 389, 445, 446
Максимовская В.В.	351, 385	Мучной Н.Ю.	2, 29, 85, 88, 175, 180, 238, 239, 240, 241, 242, 304, 544, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 41п
Малышев В.М.	238, 239, 240, 241, 242, 308, 309, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 324, 325, 326, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п	Мякин С.В.	283
Малютин Д.А.		***	
Мамкин В.Р.	486, 512	Нейфельд В.В.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Мартин К.А.	199, 503	Немытов П.И.	1, 39, 481, 486, 493, 512, 628, 4А
Мартышкин П.В.		Нестеренко И.Н.	482, 491, 495
Масленников А.Л.	167, 201, 238, 239, 240, 241, 242, 308, 309, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 324, 325, 326, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п	Нехаев В.Е.	303
Матвеев А.Н.		Никитин С.А.	2, 238, 239, 240, 241, 242, 489, 521, 540, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 620, 13п, 14п, 40п
Матяш Н.В.	247, 499, 2п	Николаев И.Б.	2, 175, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 14п,
Медведев Л.Э.	457, 496, 511	Николенко А.Д.	3, 46, 50, 60, 332, 334, 339, 344, 354, 630
Медведко А.С.	5, 238, 239, 240, 241, 242, 249, 251, 481, 484, 486, 490, 512, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 574, 630, 13п	Николенко Д.М.	18, 20, 29, 195, 196, 197, 541, 542, 543, 41п
Мезенцев Н.А.	33, 45, 295, 296, 382, 630, 638, 648	***	***
Меклер К.И.	277, 322, 361, 368, 372, 377, 393, 420, 428, 432, 433, 442, 444, 448, 462, 505, 579, 599, 606, 615	Образовский А.Е.	49, 200, 403, 404, 503
Мешков О.И.	2, 179, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 2А	Овчар В.К.	457, 496, 511
Мигинская Е.Г.	382	Огурцов А.Б.	330
Мигинский С.В.	10, 379, 457, 469, 496, 511, 515, 530	Окунев И.Н.	238, 239, 240, 241, 242, 405, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570

Онучин А.П.	55, 65, 69, 71, 76, 77, 79, 80, 86, 87, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 114, 116, 126, 127, 128, 129, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 199, 210, 238, 239, 240, 241, 242, 503, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 30п, 31п, 32п	Пестриков Д.В.	57, 243
Орешкин С.Б.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п	Петренко А.В.	164
Орешонок В.В.	249, 487	Петриченков М.В.	246, 485
Орлов И.О.	167, 238, 239, 240, 241, 242, 308, 309, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 324, 325, 326, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п	Петров В.В.	2, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 1п
Осипов А.А.	238, 239, 240, 241, 242, 305, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п	Петров В.М.	167, 249, 577, 5п
Осипов В.Н.	249, 577	Петрова Е.В.	339, 384
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Острейко Г.Н.</span>	10, 247, 499, 2п	Петрожицкий А.В.	406, 485
Отбоев А.В.	539	Пивоваров И.Л.	
Оттмар А.В.	300	Пивоваров С.Г.	167, 182, 194, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 653, 13п
Охапкин В.С.	181, 182, 194, 358, 653, 33п	Пилипенко Р.В.	
***	***	Пиминов П.А.	2, 92, 238, 239, 240, 241, 242, 407, 509, 540, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 620, 40п, 16А
Павленко А.В.	38	Пиндюрин В.Ф.	3, 17, 60, 332, 339, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 384, 630
Павлов В.М.	24, 251, 500, 518	Пинженин Е.И.	363, 367, 370, 373, 389, 439
Палагин К.С.		Пирогов С.А.	183, 653
Панасюк В.М.	36, 98, 99, 398, 498	Подгорный Ф.В.	619, 645
Панов А.Н.	302	Подобаев В.С.	499
Панфилов А.Д.	247, 303, 499, 2п	Подыминогин А.А.	6, 132, 248, 447, 7п
Панченко В.Е.	630	Полосаткин С.В.	6, 254, 277, 282, 322, 361, 368, 372, 376, 377, 393, 417, 420, 428, 432, 433, 440, 442, 444, 448, 462, 599, 606, 614, 615
Папушев П.А.	203, 549	Полужтков А.О.	74, 111, 113, 115, 118, 124, 214, 215, 216, 223, 227, 228, 229, 230, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 22п, 23п, 24п
Пархомчук В.В.	36, 59, 99, 100, 101, 171, 246, 337, 398, 485, 488, 497, 498, 501, 516, 571, 573	Померанский А.А.	
Пахтусова Е.В.	30, 49, 54, 78, 200, 403, 503	Попик В.М.	17, 457, 464, 496, 511, 630
Пачков А.А.		Попков И.Н.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Пелеганчук С.В.	167, 201, 238, 239, 240, 241, 242, 308, 309, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 324, 325, 326, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п	Попов А.С.	181, 182, 204, 358, 653, 33п
Переведенцев Е.А.	181, 495, 514, 33п	Попов С.С.	254, 282, 361, 428, 448, 451, 599, 606, 614, 615
Персов Б.З.	457, 496, 511	Попов Ю.С.	194, 653
Пестов Ю.Н.	96, 102, 133, 166, 257, 310, 312, 313, 653, 55п	Попова Н.И.	12п
		Поросев В.В.	203, 206, 549
		Поступаев В.В.	254, 277, 282, 322, 361, 368, 372, 376, 377, 393, 417, 420, 428, 432, 433, 442, 444, 448, 454, 462, 505, 599, 606, 614, 615

Присекин В.Г.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п	Сандырев В.К.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Приходько В.В.	13, 89, 252, 261, 276, 362, 363, 373, 389, 391, 422, 423, 424, 439, 597	Санин А.Л.	263, 264, 579
Протопопов А.Ю.	484	Седяров И.К.	
Пупков Ю.А.	1п	Селиванов А.Н.	341
Пурескин Д.Н.	481, 484	Селиванов П.А.	5
Путьмаков А.А.	498	Семенов А.В.	486, 512
Пята Е.Э.	175, 180	Семенов А.М.	329, 380, 493, 628
***	***	Семенов Ю.И.	
Радченко В.М.	9, 303, 499, 2п	Сеньков Д.В.	481, 484, 486, 512
Разоренов В.В.		Сердобинцев Г.В.	247, 499, 577, 2п
Ракшун Я.В.	41, 64, 333, 351, 385		
Растигеев С.А.	337, 485	Середняков С.И.	30, 49, 54, 65, 69, 71, 76, 77, 78, 79, 80, 86, 87, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 114, 116, 126, 127, 128, 129, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 199, 200, 210, 403, 503, 30п, 31п, 32п
Рачек И.А.	18, 29, 195, 196, 197, 541, 542, 543	Середняков С.С.	301, 457, 496, 511
Ращенко В.В.	299	Сибиданов А.Л.	95, 169, 181, 182, 183, 184, 213, 358, 27п, 33п, 43п
Рева В.Б.	23, 36, 59, 98, 99, 100, 101, 171, 270, 398, 486, 488, 494, 497, 498, 501, 512, 516, 571	Сидоров А.В.	303, 424, 499, 2п
Редин С.И.	181, 358, 653, 33п	Сидоров И.В.	
Резниченко А.В.	8п	Силагадзе З.К.	28, 30, 54, 78, 172, 176, 200, 202, 327, 328, 403, 503
Репков В.В.	396, 486, 512, 11п	Симонов Е.А.	2, 238, 239, 240, 241, 242, 517, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Ровенских А.Ф.	254, 277, 282, 322, 361, 368, 372, 376, 377, 393, 418, 420, 428, 432, 433, 442, 444, 448, 451, 462, 505, 599, 606, 615	Сингатулин Ш.Р.	574, 575
Роговский Ю.А.	482, 483, 491, 495, 514	Синицкий С.Л.	268, 277, 322, 361, 368, 372, 377, 393, 417, 418, 420, 428, 432, 433, 444, 448, 452, 454, 462, 505, 583, 588, 598, 599, 606, 615
Родякин В.А.	13п	Сироткин А.А.	49
Романов А.Л.	97, 491, 495, 508, 514, 519	Синяткин С.В.	2, 238, 239, 240, 241, 242, 411, 509, 521, 523, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 620, 40п
Ромашко Н.Д.	499, 2п	Скарбо Б.А.	522
Ротов Е.А.	249	Сковородин Д.И.	375, 434
Рубан А.А.	181, 182, 194, 238, 239, 240, 241, 242, 358, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 653, 13п, 33п	Сковпень К.Ю.	308, 309, 325, 326, 410, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п
Руденко А.С.	149, 356, 408, 15п, 39п, 58п		
Рыбицкая Т.В.			
Рыскулов Н.М.	181, 358, 653, 33п		
***	***		
Савинов Г.А.	203, 238, 239, 240, 241, 242, 549, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п		
Савкин В.Я.	131, 373, 389, 425, 445		
Садыков Р.Ш.	195, 196, 542		
Сазанский В.Я.	38, 576		
Саликова Т.В.	381, 457, 496, 511		
Салимов Р.А.	1, 486, 493, 512, 628		
Сальников С.Г.	138		

Сковпень Ю.И.	65, 69, 71, 76, 77, 79, 80, 86, 87, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 114, 116, 126, 127, 128, 129, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 210, 238, 239, 240, 241, 242, 503, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 30п, 31п, 32п	Сухарев А.М.	238, 239, 240, 241, 242, 308, 309, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 324, 325, 326, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п
Скоробогатов Д.Н.	5, 100, 101, 171, 497, 498, 516	Сухина Б.Н.	
Смалюк В.В.	2, 31, 92, 179, 238, 239, 240, 241, 242, 249, 380, 487, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 630, 13п, 3А	Сыроватин В.М.	382, 648
Смолина Е.В.	653	***	***
Снопков И.Г.	181, 182	Талышев А.А.	120, 167, 201, 238, 239, 240, 241, 242, 308, 309, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 324, 325, 326, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 653, 13п, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п
Снопков Р.Г.	13п, 33п	Тарарышкин С.В.	
Соколов А.В.	72, 83, 84, 211, 214, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 17п, 18п	Тарнецкий В.В.	47, 247, 499, 2п
Соколов В.В.	146, 147, 148, 211, 214, 238, 239, 240, 241, 242	Таскаев С.Ю.	51, 268, 579, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 3п
Солдаткина Е.И.	90	Таюрский В.А.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 10п, 13п, 42п
Солодов Е.П.	126, 127, 128, 129, 181, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 210, 358, 653, 30п, 31п, 32п, 33п	Тельнов В.И.	237, 238, 239, 240, 241, 242, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 20п
Соломахин А.Л.	13, 363, 365, 371, 373, 389, 425, 450	Терехов А.В.	27, 168, 275, 419
Сорокин А.В.	132, 248, 427, 446, 7п	Терехов И.С.	121, 37п
Сорокин И.Н.	579, 582, 585	Тимофеев И.В.	27, 275, 417, 419, 453, 454, 615, 8А
Сорокина Н.В.	254, 282, 361, 376, 428, 442, 448, 599, 606, 615	Титов В.М.	203, 653
Сороколетов Д.С.	336, 384	Тиунов М.А.	132, 247, 248, 436, 499, 2п
Старостенко А.А.		Ткаченко В.О.	303, 499, 2п
Старостенко Д.А.		Тодышев К.Ю.	65, 69, 71, 76, 77, 79, 80, 86, 87, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 114, 116, 127, 128, 129, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 210, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 30п, 31п, 32п
Старостина Е.В.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570	Токарев Ю.Ф.	457, 511
Старцева Е.П.		Толочко Б.П.	16, 177, 203, 331, 340, 348, 630, 5А
Степанов В.Д.	322, 361, 448, 452, 462, 615	Топорков Д.К.	18, 29, 195, 196, 541, 542, 543
Страховенко В.М.	161, 649, 19п	Трибендис А.Г.	
Ступишин Н.В.	131, 132, 248, 388, 427	Трунев Ю.А.	418, 442, 604, 615
Судников А.В.	361, 372, 377, 428, 432, 433, 599, 606, 615	Тумайкин Г.М.	2, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570
Суляев Ю.С.	9, 268, 322, 361, 420, 428, 442, 462, 579, 599, 606, 615, 9А	***	***
Сурин И.К.	49		
Суханов А.В.			
Суханов Д.П.	249, 487		

Украинцев Ю.Г.	206, 207, 546, 547, 548, 549	Чуркин И.Н.	630
Усов Ю.В.	49, 72, 73, 74, 84, 105, 111, 113, 115, 118, 167, 201, 214, 216, 226, 238, 239, 240, 241, 242, 414, 503, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 23п	***	***
Уткин А.В.	330, 383, 630	Шамов А.Г.	2, 175, 238, 239, 240, 241, 242, 308, 309, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 324, 325, 326, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п, 46п, 47п, 48п, 49п, 50п, 51п, 52п, 53п, 54п, 59п
Ушаков В.А.	329, 630	Шарафутдинов М.Р.	203
***	***	Шатилов Д.Н.	2, 92, 238, 239, 240, 241, 242, 517, 520, 540, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 620, 40п
Фадеев С.Н.	493, 628	Шатунов П.Ю.	495, 514, 617, 618, 33п
Фадин В.С.	21, 61, 135, 136, 137, 531, 532, 533, 534, 8п	Шатунов Ю.М.	30, 54, 78, 181, 200, 403, 495, 503
Факторович Б.Л.	247, 303, 499, 2п	Шаяхметов В.Р.	549
Фатькин Г.А.	38, 300, 302	Шварц Б.А.	66, 67, 68, 73, 74, 75, 104, 105, 111, 113, 115, 117, 118, 125, 181, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 222, 224, 231, 232, 233, 238, 239, 240, 241, 242, 305, 358, 414, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 653, 13п, 23п, 24п, 25п, 26п, 33п
Федотов М.Г.	341	Шварц Д.Б.	495, 514
Федотович Г.В.	95, 134, 169, 181, 358, 653, 33п, 43п	Шведов Д.А.	2
Филатов П.В.	49	Шебалин В.Е.	72, 75, 111, 115, 118, 124, 214, 223, 409, 414, 653, 23п, 24п
Филипченко А.В.	329, 630	Шевченко О.А.	400, 457, 475, 478, 496, 510, 511
Фролов А.Р.	96, 102, 133, 166, 260, 269, 485	Шеромов М.А.	348, 630
***	***	Шестаков Ю.В.	18, 29, 195, 196, 197, 541, 542, 543
Хавин Н.Г.	330	Шехтман Л.И.	16, 29, 203, 229, 230, 340, 549, 13п, 20п, 59п
Хазин Б.И.	181, 182, 194, 358, 653, 33п	Шиховцев И.В.	6, 132, 248, 427, 447, 7п
Харламов А.Г.	49, 200, 403, 503, 12А	Шичков Д.С.	330, 383
Харламова Т.А.	238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п	Шиянков С.В.	630
Хацимовский В.М.	158, 159, 160	Шкаруба В.А.	382
Хильченко А.Д.	425, 440, 446, 1А	Shkaruba V.A.	
Хильченко В.А.	440	Шошин А.А.	254, 282, 361, 376, 377, 393, 428, 433, 444, 606, 615
Холопов М.А.	330, 333, 385	Штарклев Е.А.	303
Хриплович И.Б.	22, 81, 93, 149, 356, 408, 656, 15п, 16п, 58п	Штоль Д.А.	30, 200, 503
Хрущев С.В.	382	Шубин Е.И.	479
***	***	Шукаев А.Н.	503
Цидулко Ю.А.	37, 252, 258, 259, 423, 426, 430, 438, 597, 6п	Шульженко Г.И.	131, 132, 427
Цуканов В.М.	2, 382	Шушаро А.И.	13п
Цыганов А.С.		***	***
***		Щеглов М.А.	17, 457, 464, 496, 511, 630
Чеблаков П.Б.	619	Щеголев Л.М.	329
Черепанов В.П.	95, 249, 396, 487, 34п		
Черепков В.Г.	486, 512		
Чернов В.А.	333, 338		
Чернов К.Н.	47, 247, 499, 577, 2п		
Черноштанов И.С.	37, 423, 426		
Черняк В.Л.	62, 63, 144, 145		
Чернякин А.Д.			
Ческидов В.Г.	247, 457, 496, 498, 499, 511, 2п		
Чудаев В.Я.	51, 586, 3п		
Чупыра А.Г.	58, 574, 575		



***	***
Эйдельман С.И.	4, 66, 67, 68, 73, 74, 75, 83, 84, 95, 104, 105, 111, 113, 115, 117, 118, 124, 125, 134, 181, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 229, 230, 234, 235, 236, 238, 239, 240, 241, 242, 357, 358, 502, 556, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 653, 4п, 22п, 23п, 24п, 33п, 34п, 35п, 36п, 43п
Эйдельман Ю.И.	
Эпштейн Л.Б.	399, 653
***	***
Юдин Ю.В.	181, 204, 358, 653, 33п
Юрченко Ю.Б.	549
Юшков А.Н.	71, 79, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 115, 116, 127, 128, 129, 187, 188, 190, 238, 239, 240, 241, 242, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 13п
***	***
Яровой В.А.	418, 604

---

УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА СО РАН

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ  
2010

Обложка Е.Д. Бендер

Ответственный за выпуск А.В. Васильев

Работа поступила 7.02. 2011 г.

---

Сдано в набор 14.02. 2011 г.

Подписано в печать 15.04. 2011 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 24,0 печ.л., 18,2 уч.-изд.л.

Тираж 200 экз. Бесплатно. Заказ № 8

---

Обработано на РС и отпечатано  
на ротапринте «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,  
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11