

Российская Академия наук  
Ордена Ленина Сибирское отделение  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ

2009

НОВОСИБИРСК  
2010

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>7</b>
<b>1. Физика элементарных частиц</b>	<b>15</b>
1.1 Детектор КМД-3	17
1.2 Детектор СНД	18
1.2.1 Модернизация СНД и первые результаты экспериментов на ВЭПП-2000	18
1.2.2 Обработка данных с ВЭПП-2М	21
1.2.3 Участие в международных проектах	22
1.2.4 Развитие экспериментальной методики	23
1.3 Детектор КЕДР	25
1.4 Результаты работы детектора КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М в 2009 году	26
1.4.1 Измерение $\Gamma_{ee} \times V_{ee(\mu\mu)} J/\psi$ мезона	27
1.4.2 Измерение масс $D$ мезонов	28
1.4.3 Измерение массы и полной ширины $\psi(3770)$ мезона	29
1.4.4 Измерение вероятности распада $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$	30
1.4.5 Поиск узких резонансов	31
1.5 Детекторы для ФВЭ	32
1.6 Рентгеновские детекторы	32
1.7 Прочие работы	33
1.8 Микроструктурные газовые детекторы	34
1.9 Участие в эксперименте ATLAS на Большом Адронном Коллайдере (LHC)	36
1.10 Эксперимент Belle	38
1.11 Фотонный коллайдер	44
<b>2. Электро- и фотоядерная физика</b>	<b>45</b>
2.1 Эксперименты с внутренними мишенями	47
<b>3. Теоретическая физика</b>	<b>51</b>
3.1 Сильное взаимодействие	53
3.2 Ядерная физика и несохранение чётности	56
3.3 Квантовая электродинамика	57
3.4 Гравитация	60
3.5 Нелинейная динамика и хаос	61
<b>4. Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез</b>	<b>69</b>
4.1 Вихревое удержание ионно-горячей плазмы с $\beta=60\%$ в аксиально-симметричной магнитной ловушке	67
4.1.1 Введение	67
4.1.2 Описание эксперимента	68
4.1.3 Результаты экспериментов	69

4.2	Установка ГОЛ-3 .....	73
4.2.1	Введение .....	73
4.2.2	Эксперименты с электронным пучком уменьшенного диаметра .....	74
4.2.3	Регистрация субтерагерцового излучения из плазмы .....	76
4.2.4	Стабилизация электронного пучка .....	78
4.2.5	Улучшение характеристик пучка ускорителя У-2 .....	80
4.2.6	Развитие технологии формирования интенсивных электронных пучков большой длительности с плазменным эмиттером .....	82
4.2.7	Заключение .....	83
4.3	Инжекторы пучков быстрых атомов и ионов .....	84
4.3.1	Инжекторы пучков быстрых атомов .....	84
4.3.2	Стационарный источник отрицательных ионов водорода .....	84
4.3.3	Стационарный высококачественный источник протонов .....	85
4.3.4	Комбинированный источник фильтрованной катодно-дуговой плазмы для получения тонких плёнок и защитных покрытий .....	87
<b>5.</b>	<b>Установки со встречными электрон-позитронными пучками .....</b>	<b>89</b>
5.1	ВЭПП-2000 в 2009 году .....	91
5.2	Ускорительный комплекс ВЭПП-4 .....	97
5.2.1	Распределение рабочего времени .....	97
5.2.2	Физика высоких энергий .....	98
5.2.3	Ядерная физика .....	100
5.2.4	Селективный деполяризатор .....	103
5.2.5	Новая оптическая диагностика пучка .....	105
5.3	Инжекционный комплекс ВЭПП-5 .....	109
5.4	Разработки для высоковольтного электронного охлаждения .....	111
5.5	Работы по Ускорительному Масс Спектрометру .....	112
5.6	Вакуумные системы .....	113
5.6.1	Тонкопленочные покрытия .....	113
5.6.2	Плоское фланцевое соединение .....	114
5.6.3	Высоковакуумное оптическое окно инфракрасного диапазона .....	116
5.7	Работы по электрон-позитронным фабрикам и физике пучков .....	118
5.8	Импульсный магнит для позитронного источника Super-B фабрики КЕК .....	118
5.9	Электронно-лучевые источники многозарядных ионов .....	119
5.10	Работы по системам впуска-выпуска .....	121
5.11	Разработка высокоинтенсивной нейтронной мишени .....	124
<b>6.</b>	<b>Синхротронное излучение и лазеры на свободных электронах .....</b>	<b>129</b>
6.1	Работы на пучках СИ из ВЭПП-3 .....	132
6.1.1	Станция - "ВЗРЫВ" (Экстремальные состояния вещества) .....	132
6.1.2	Станция - "LIGA-технология и рентгеновская литография" .....	134
6.1.3	Станция - "Дифрактометрия высокого разрешения" .....	137
6.1.4	Станция - "Рентгенофлуоресцентный элементный анализ" .....	141
6.1.5	Станция - "Дифрактометрия при высоких давлениях" .....	144
6.1.6	Станция - "Рентгеновская микроскопия и томография" .....	148
6.1.7	Станция - "Дифракционное кино" .....	150
6.1.8	Станция - "EXAFS -спектроскопия" .....	152
6.2	Работы на пучках СИ из ВЭПП-4 .....	157
6.2.1	Станция метрологии в ВУФ и мягком рентгене "Космос" .....	157
6.2.2	Предварительная аттестация кристаллов для монохроматора .....	158

6.3	Работа с пучками терагерцового излучения .....	159
6.3.1	Новосибирский терагерцовый лазер на свободных электронах.....	159
6.3.2	Экспериментальные станции на пучках ТГц излучения.....	159
6.3.3	Вторая очередь Новосибирского ЛСЭ .....	171
6.3.4	Результаты 2009 года и планы на 2010 год .....	173
6.4	Разработка и создание специализированных генераторов СИ .....	174
6.4.1	Сверхпроводящие вигглеры.....	174
6.4.2	Вигглеры-затухатели на постоянных NdFeB магнитах для источника СИ Petra-III (Гамбург) .....	177
6.4.3	Радиационно-стойкий дипольный магнит для строящегося в GSI (Германия) ионного ускорителя .....	177
6.4.4	Каналы транспортировки ионного углеводного пучка к пациентам для Центра терапии раковых заболеваний при университете Гунма, Япония .....	178
6.4.5	Технологический накопительный комплекс (ТНК "Зеленоград") .....	179
6.4.6	Разработка нового источника синхротронного излучения для Сибирского центра СИ .....	180
6.5	Конференции, совещания, семинары.....	184
6.5.1	Российско-германская школа для молодых специалистов "Синхротронное излучение" .....	184
6.5.2	8-я конференция студентов и аспирантов СЦСТИ .....	186
6.5.3	Участие сотрудников СЦСТИ в других научных мероприятиях .....	186
<b>7.</b>	<b>Радиофизика и электроника .....</b>	<b>189</b>
7.1	Источники питания электрофизических установок.....	191
7.1.1	Источники стабилизированного тока .....	191
7.1.2	Высоковольтные источники постоянного стабилизированного напряжения.....	194
7.2	Разработка измерительных систем и устройств автоматизации физических экспериментов .....	197
7.3	Исследования, связанные с моделированием и решением электростатических и электродинамических задач ускорительной физики.....	201
7.4	Модернизированная ВЧ система накопителя Сибирь-2 – источника СИ .....	202
7.5	Источник электронов для экспериментов по электронной дифракции.....	206
7.6	ВЧ система 2,2 ГэВ накопителя – источника СИ в Зеленограде .....	209
7.7	ВЧ система инжекторов нейтральных пучков токамака COMPASS.....	210
7.8	Высокочастотная (ВЧ) пушка для микротрона-рекуператора .....	211
7.9	Каскады усиления мощности модульного типа на тетроде ТН781 .....	211
7.10	Высокочастотный генератор 200кВт для линейного ускорителя.....	214
7.11	Ускоряющие структуры CCDTL для Linac 4, CERN .....	215
<b>8.</b>	<b>Мощные электронные ускорители .....</b>	<b>217</b>
8.1	Радиационные технологии и ускорители электронов серии ЭЛВ .....	219
8.2	Ускорители электронов типа ИЛУ и их применение .....	224
8.2.1	Поставки ускорителей.....	224
8.2.2	Разработка модульного промышленного линейного ускорителя электронов ИЛУ-14 .....	224
8.2.3	Разработка новых технологий .....	225
<b>9.</b>	<b>Физика для медицины .....</b>	<b>227</b>
9.1	Установка "Тандем-БНЗТ" .....	229

9.2 Детекторы рентгеновского излучения для медицины и досмотра людей .....	230
9.2.1 Медицинская рентгенография .....	230
9.2.2 Система Рентгеновского Контроля (СРК) "Сибскан" для досмотра людей .....	230
<b>Библиография .....</b>	<b>231</b>
<b>Список публикаций .....</b>	<b>231</b>
Препринты .....	276
Авторефераты .....	280
Участие в конференциях .....	281
<b>Соглашения о сотрудничестве .....</b>	<b>284</b>
<b>Состав научных сотрудников .....</b>	<b>287</b>
Члены Российской академии наук .....	287
Дирекция .....	287
Учёный совет .....	287
Секции учёного совета по направлениям .....	288
Научные работники и их публикации .....	291

## 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 407 научных сотрудников Института 10 академиков и членов-корреспондентов РАН, 56 докторов и 156 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 40 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  $K$ -,  $\rho$ -,  $\omega$ -,  $\phi$ -,  $\psi$ - мезонов и  $\gamma$ - 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 поля-

ризационных экспериментах (с 1984 года);

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

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

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

### **В области теоретической физики:**

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

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

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

- предсказание большого усиления эффектов несохранения 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 инъекции, приме-

няемого в настоящее время на всех крупных протонных ускорителях (1960-1964 года);

- теоретические и экспериментальные исследования получения поляризованных пучков и спиновой динамики в коллайдерах и ускорителях, концептуальная разработка и создание высокоэффективных спиновых ротаторов и «сибирских змеек» для ряда ускорительных комплексов (1966-1995 годы);
- теоретические и экспериментальные исследования стохастической неустойчивости и «эффектов встречи», ограничивающих светимость установок со встречными пучками (с 1966 года);
- разработка физической концепции нового поколения электрон - позитронных коллайдеров с очень высоким уровнем светимости, так называемых электрон - позитронных фабрик (с 1987 года);
- предложение и разработка метода ионизационного охлаждения мюонов для создания мюонных коллайдеров и нейтринных фабрик (1969 -1981 -2002);
- разработка и создание мощных электронных ускорителей малой энергии для различных технологических применений, включая защиту окружающей среды, в том числе ускорители ЭЛВ-12 с мощностью 500 кВт и энергией 1 МэВ и ИЛУ-10 с мощностью до 50 кВт и энергией 5 МэВ (с 1963 года);
- предложение и реализация схемы ускорителя – рекуператора для лазеров на свободных электронах с высоким КПД (1979- 2003 годы)

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

- изобретение (1954 год) и создание (1959 год) «классической» открытой магнитной ловушки (пробкотрона) для удержания горячей плазмы;
- изобретение и разработка новых схем открытых ловушек: 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 г.)

### **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 периодиче-



ских 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 отличает широкое многолетнее международное сотрудничество с большинством крупных зарубежных и международных центров. Ярким примером такого сотрудничества является участие ИЯФ в крупнейшем международном проекте современности – создании Большого Адронного Коллайдера в Европейском Центре Ядерных Исследований (г. Женева). В рамках этого сотрудничества ИЯФ разработал, изготовил и поставил в ЦЕРН уникальное высокотехнологичное оборудование стоимостью более 100 миллионов швейцарских франков. Среди других примеров международного сотрудничества – участие в проектах В-фабрик в США и Японии, в реализации крупных европейских проектов: источника синхротронного излучения PETRA-III 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; пяти 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); трех государственных контрактов с ФАНИ в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 - 2013 годы; девяти государственных контрактов в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 - 2013 годы; пятидесяти проектов РФФИ.

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

**Лучшими работами 2009 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 наилучшей в мире точностью измерено произведение электронной ширины  $J/\psi$ -мезона на относительную вероятность его распада в электрон-позитронную пару и пару мюонов:

$$\Gamma_{ee} * B(J/\psi \rightarrow e^+e^-) = (0,3323 \pm 0,0064 \pm 0,0048) \text{ кэВ (2,4\%)}$$

$$\Gamma_{ee} * B(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-) = (0,3318 \pm 0,0052 \pm 0,0063) \text{ кэВ (2,4 \%)}$$

2. В эксперименте с детектором СНД на ВЭПП-2М измерено сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  в области энергии 0,75-1,0 ГэВ (при энергии  $2E < 0,92 \text{ ГэВ}$  – впервые). Обнаружен редкий распад  $\rho^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ , имеющий относительную вероятность  $1,6 \times 10^{-5}$ .

3. В эксперименте с детектором КЕДР на ВЭПП-4М измерена масса нейтрального D-мезона:  $M_{D^0} = (1865,30 \pm 0,33 \pm 0,23) \text{ МэВ}$ . Полученный результат имеет сравнимую со среднемировой точность измерения.

4. Проведено вычисление кулоновских поправок для процесса рождения электрон-позитронных пар при столкновении релятивистских ядер в следующем за главным приближении по параметру  $L = \ln \gamma_A \gamma_B$ . Обнаружено их значительное подавление за счет вклада в сечение событий, в которых пары рождаются с энергией несколько электронных масс в системе покоя одного из ядер. Полученные результаты дают естественное объяснение экспериментальным результатам, полученным в ЦЕРН на ускорителе SPS.

5. В эксперименте с детектором СНД на ВЭПП-2М выполнено прецизионное измерение сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$  в области энергии 1,04-1,38 ГэВ. Впервые для этой энергии экспериментально определено значение постоянной тонкой структуры:  $1/\alpha(s) = 134,1 \pm 1,3$ , подтверждающее рост константы  $\alpha(s)$  в Стандартной модели в данной энергетической области.

**В области физики плазмы:**

6. В экспериментах на многопробочной ловушке ГОЛ-3 показано, что при нагреве плазмы мощным релятивистским электронным пучком с диаметром, уменьшенным с 4 до 1 см, эффективность коллективной релаксации пучка в плазме достигает величины  $\sim 50\%$ . В сечении пучка плазма нагревается до субтермоядерных температур при сохранении энергетического времени жизни, существенного увеличения поперечных потерь плазмы не наблюдается. Данный результат имеет важное значение для выбора параметров многопробочного термоядерного реактора.

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

7. Завершено создание системы высоковольтного электронного охлаждения на энергии 400 МэВ/нуклон для Института современной физики в г. Ланчжоу (Китай).

8. Совместно с южнокорейской фирмой EB-TECH завершено создание уникального передвижного ускорителя электронов на базе ускорителя ЭЛВ, предназначенного для решения оперативных экологических задач. Проведены успешные испытания ускорителя в Южной Корее.

9. Завершено создание системы вигглеров для источника синхротронного излучения PETRA III в лаборатории DESY (Гамбург), позволившей получить рекордный фазовый объем пучка с эмиттансом 1 нм-рад.

10. Разработаны, изготовлены и успешно внедрены на ведущих предприятиях оборонного комплекса России современные отечественные энергоблоки для установок электронно-лучевой сварки.

11. Получен режим генерации вынужденного излучения на второй очереди Новосибирского лазера на свободных электронах (ЛСЭ). По средней мощности излучения (0,5 кВт) Новосибирский ЛСЭ в десятки раз превосходит все другие источники когерентного излучения в своих диапазонах длин волн (40 – 80 и 110 – 240 микрон).

Шесть научных коллективов Института, возглавляемые академиками Скринским, Барковым, Кругляковым и Кулипановым, член-корреспондентом РАН Диканским и профессором Онучиным, имеют статус ведущих научных школ, присуждаемый Советом по грантам при Президенте Российской Федерации. Четыре коллектива молодых ученых Института являются лауреатами этого же Совета как молодые доктора и молодые кандидаты наук. Три молодых сотрудника Института стали лауреатами именной премии и гранта администрации Новосибирской области для молодых учёных за научные достижения в области фундаментальных и прикладных исследований. Пять молодых ученых Института стали лауреатами шестого Общероссийского конкурса молодежных исследовательских проектов в области энергетики «Энергия молодости-2009», трем сотрудникам Института присуждена медаль Российской академии наук для молодых ученых по итогам конкурса 2009 года в области ядерной физики.

В отчетном году в Институте продолжали работу три диссертационных Совета с правом приема докторских (кандидатских) диссертаций. Всего проведено 12 заседаний, на которых были защищены 3 докторских и 9 кандидатских диссертаций.

Для учащихся, студентов, преподавателей школ и вузов, сотрудников других организаций и гостей Института было проведено 55 экскурсий по установкам ИЯФ, которые посетило 1306 человек, проведено 9 выездных лекций в новосибирских школах.



**1**

**Физика  
элементарных  
частиц**



## 1.1 Детектор КМД-3

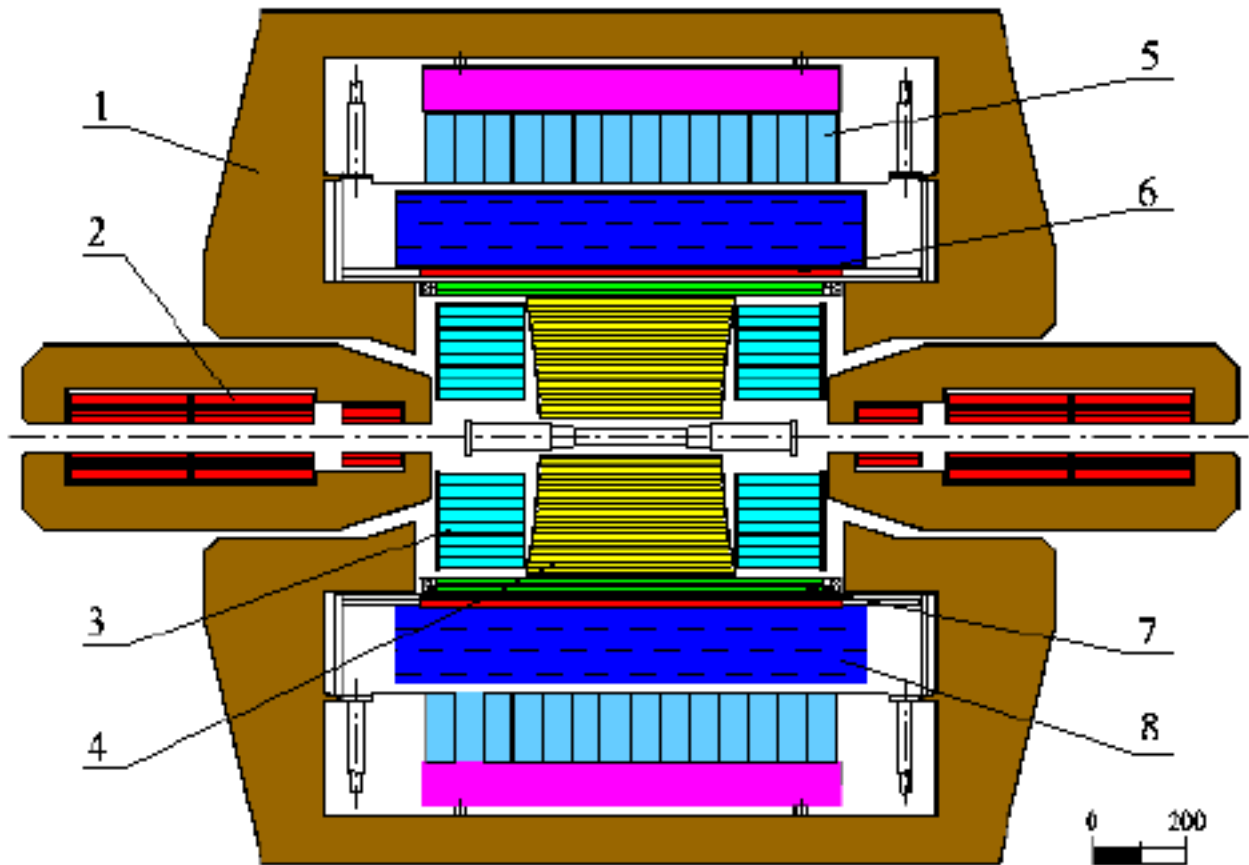


Рис. 1. Детектор КМД-3: 1 - ярмо магнита; 2 - сверхпроводящие соленоиды ВЭПП-2000; 3 - электромагнитный калориметр на основе кристаллов BGO; 4 - дрейфовая камера; 5 - электромагнитный калориметр на основе кристаллов CsI; 6 - сверхпроводящий соленоид КМД-3; 7 - Z-камера; 8 - электромагнитный калориметр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

Схематический продольный разрез детектора КМД-3 показан на рис. 1.

Основными направлениями работ в 2009 году были сборка систем детектора в зале накопителя ВЭПП-2000 и проверка их работы с использованием частиц космического излучения.

После выбора рабочей величины магнитного поля в сверхпроводящем соленоиде 1,35 Т были поведены измерения его однородности в объеме, занятом дрейфовой камерой. Время запитки соленоида рабочим током не превышает 10 часов, а расход жидкого гелия в стационарном режиме составляет 4 литра в час. В апреле-мае в детектор была установлена дрейфовая камера, запущена система, формирующая ее газовую смесь, подключены оцифровывающая электроника и система высоковольтного питания. Одновременно с дрейфовой камерой в детектор была установлена Z-камера, предназначенная для формирования триггера и точного измерения координат треков заряженных частиц вдоль оси пучков. К этому же времени были завершены основные работы по разработке и изготовлению блоков электроники, с помощью которых вырабатываются сигналы триггера при регистрации заряженных частиц. Своевременное завершение этого комплекса работ позволило провести полную комплексную проверку координатной части детектора с использованием частиц космического излучения, в процессе которой были получены разрешения отдельных си-



стем, соответствующие проектным параметрам и стендовым испытаниям. После этих испытаний был установлен вакуумный промежуток из алюминия толщиной 0,5 мм и перенесены фокусирующие соленоиды накопителя, что, в итоге, позволило установить детектор на кольцо ВЭПП-2000. Вслед за этим в детектор были установлены блоки кристаллов торцевого калориметра и торцевое железо ярма магнита.

Существенное развитие получило программное обеспечение системы сбора данных, их обработки и моделирования. Написаны и опробованы процедуры построения события, сшивающие информацию с блоков новой электроники и крейтов стандарта КЛЮКВА (Z-камера и полосковая структура калориметра на основе жидкого ксенона). Завершается работа по написанию блока программ визуализации событий и статуса эксперимента, включающая информацию с ВЭППа и отдельных систем детектора для контроля качества записываемой информации.

В то же время, остается еще значительный объем работ по завершению настройки и запуска отдельных блоков электроники, по развитию программного обеспечения эксперимента и наращиванию вычислительного и сетевого оборудования, призванного к обеспечению надежности работы детектора и своевременного анализа данных.

Кроме того, в 2009 году был проведен анализ эксперимента с детектором КМД-2 по измерению лептонной ширины  $\phi(1020)$  мезона при совместном анализе четырех основных каналов распада этой частицы. Было получено следующее значение  $\Gamma_{ee}$ :

$$\Gamma_{ee} = 1,233 \pm 0,004 \pm 0,019 \text{ кэВ}$$

Данное измерение является самым точным, выполненным на сегодняшний день. По результатам этой работы ведется подготовка журнальной публикации.

## 1.2 Детектор СНД

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

15 декабря 2008 года трековая система СНД была установлена на промежуток встречи ВЭПП-2000. В январе-феврале 2009 г. проводилось подключение трековой системы к регистрирующей электронике. В марте-апреле 2009 г. проведена серия тестовых заходов с детектором СНД на ВЭПП-2000 в области  $\phi(1020)$  резонанса (рис. 1). Всего было записано около 1 млн. событий. В целом, при работе с пучками ВЭПП-2000 трековая система показала удовлетворительную работу.

В апреле-июне и октябре-декабре проводились эксперименты по регистрации космических частиц, позволившие провести диагностику каналов электроники трековой системы. Использование схемы запуска детектора от совпадения сигналов аэрогелевой, трековой и мюонной систем с временным разрешением запускающего сигнала  $\sigma_t \approx 2$  нс позволило провести калибровку зависимости координаты в r- $\phi$  плоскости от времени дрейфа и определить координатное разрешение трековой системы  $\sigma_{r-\phi}$ , которое в минимуме составило 80 мкм.

В 2009 году также была разработана программа генераторной калибровки электроники катодных полосок дрейфовой камеры (ДК), определены смещения концов проволочек ДК вдоль оси z, проведено сравнение моделирования энерговыделения в дрейфовой камере с экспериментальными данными по событиям упругого  $e^+e^-$  рассеяния. При моделировании учитывались флуктуации первичной ионизации, дрейф ионизации и ее диффузия при дрейфе, газовое усиление и отклик электроники. Экспериментальные спектры согласуются с смоделированными.

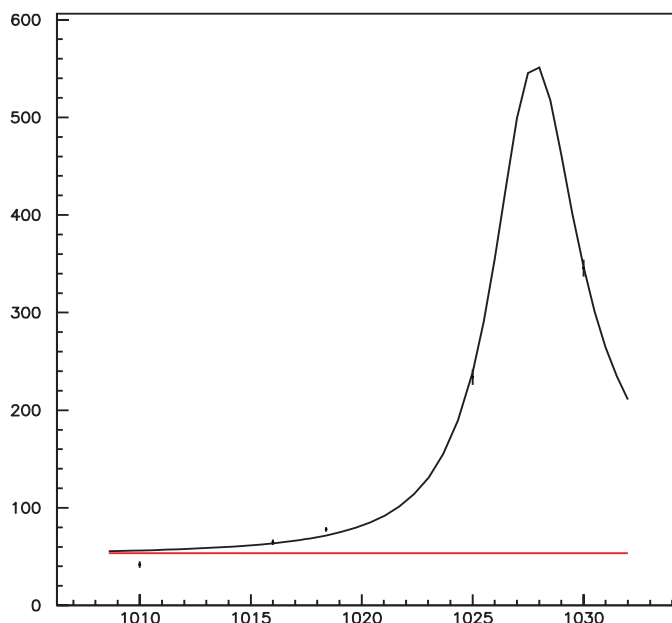


Рис. 1. Зависимость видимого сечения рождения адронов от энергии пучков.

Система аэрогелевых черенковских счетчиков с показателем преломления аэрогеля  $n=1,13$  была установлена на детекторе СНД весной 2009 года. Работоспособность системы проверялась на событиях с космическими частицами. Для этого были проведены заходы, в которых запись событий происходила при одновременном срабатывании аэрогелевой, трековой и мюонной систем. Записанные события использовались как для калибровки дрейфовой системы в г-ф проекции, так и для исследования отклика счетчика, для чего с использованием трековой системы отбирались частицы, попавшие в счетчик. Предварительные результаты по временному разрешению счетчика показаны на рис. 2. На рисунке показана разность времен срабатывания второго и седьмого счетчиков системы.

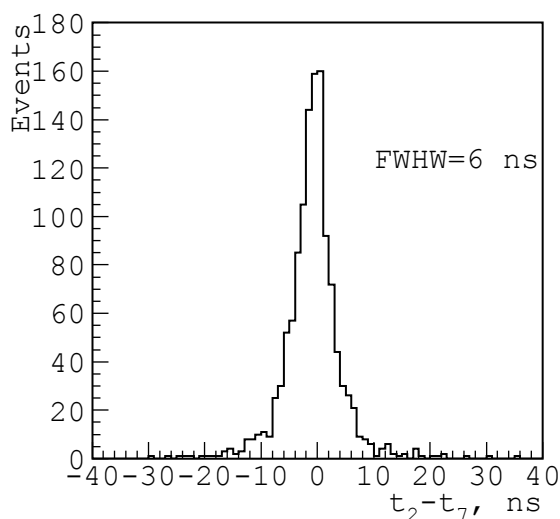


Рис. 2. Временное разрешение аэрогелевого счетчика детектора СНД.

В настоящее время в калориметре детектора СНД работоспособно 98% счётчиков. Калориметр был откалиброван по космическим мюонам. Сравнение результатов калибровки с результатами 1996 года показывает, что средний сигнал в первом и втором слоях калориметра не изменился, а в третьем слое уменьшился примерно в 1,5 раза. Изменение

сигнала связано с заменой фотоприёмников - вакуумных фототриодов (ВФТ) на третьем слое. Новые приборы по сравнению с предыдущими имеют меньшее произведение квантового выхода на коэффициент усиления. С другой стороны, для новых ВФТ не наблюдается уменьшение сигнала со временем, которое для старых приборов составляло около 3% в месяц. Среднее изменение калибровочных коэффициентов за один месяц во всех трёх слоях не превышает 1%. Сравнение спектров энерговыделения в калориметре электронов и фотонов с энергией около 500 МэВ с аналогичными, полученным в 1996 году, показало стабильность параметров калориметра.

Возникающие неисправности в калориметре связаны с выходом из строя как ВФТ, так и предусилителей (ЗЧУ).

С учётом опыта многих лет работы с калориметром были сформулированы предложения по новой электронике, которые в настоящее время реализуются в новом разрабатываемом прототипе.

В 2009 году торцевая часть мюонной системы установлена на детекторе и подключена к электронике системы сбора данных детектора. Работоспособность баррельной части системы была проверена в экспериментальных заходах с космическими частицами и с пучками на ВЭПП-2000. В настоящее время проводится проверка торцевой части мюонной системы с использованием штатной электроники детектора и программного обеспечения системы сбора данных.

В плане подготовки эксперимента по измерению электромагнитного формфакторнейтрона изготовлен тестовый образец 24-канального 12-разрядного флэш-АЦП, разработанного сотрудниками сектора 3-12, для измерения времени пролета с помощью калориметра СНД. В настоящее время ведется подготовка к измерению временного разрешения сцинтилляционного NaI(Tl) счетчика калориметра СНД с новым флэш-АЦП на космических мюонах.

Проведена проверка моделирования взаимодействия антинейтронов в программе GEANT4. Установлено, что сечение аннигиляции антинейтронов, заложенное в программу моделирования GEANT4, существенно завышено по сравнению с экспериментальным. Произведена коррекция полного сечения аннигиляции в программе моделирования.

Электроника всех подсистем детектора укомплектована и готова к работе. Проводится постепенная модернизация устаревшего оборудования. В 2009 году проведена замена предусилителей на трековой системе.

В 2009 году продолжилось развитие программного обеспечения системы сбора данных (ССД) детектора СНД.

- Реализовано чтение новых подсистем детектора, использующих платы ТП (сцинтилляционные счетчики мюонной системы и черенковские счетчики азрогелевой системы), чтение регистров (ДА-НЕТ) внешней системы.
- Введена в эксплуатацию новая версия проекта Т2А с подавлением несработавших каналов.
- Добавлена калибровка плат ПА24 перед началом сбора данных.
- Реализовано сохранение пересчетов в файлы, создана база данных для их хранения.
- Проводились работы над интеграцией загрузки конфигураций первичного триггера в ПО ССД.
- Продолжилось развитие человеко-машинного интерфейса к ССД.
- Проводилась интеграционная проверка ССД во время месячного сканирования с работающим ВЭПП-2000.
- Выявлены причины сбоев чтения событий с электроники на высоких нагрузках и найдены обходные пути решения.

По результатам тестовых и эксплуатационных заходов исправлены ошибки, улучшена эффективность работы системы.

В области программного обеспечения "offline" :

- Оптимизирован алгоритм отбрасывания ложных срабатываний при реконструкции треков в дрейфовой камере.
- Реализована интеграция элементов детектора в объект "частица", реализован алгоритм, доработан объект, реализован интерфейс с заданием.
- Передан в эксплуатацию алгоритм калибровки времени дрейфовой камеры с зависимостью от угла частицы.
- Сделан ряд критических изменений в среде СУМО (системе управления модулями обработки), создан новый релиз ПО СНД.
- Система реконструкции доведена до возможности использования в стандартизированной форме, исправлены основные блокирующие ошибки.
- Разработан генератор "4π" на основе пакета генераторов многоадронных событий.
- Разработана инфраструктура для алгоритма кластеризации срабатываний катодных полосок.
- Начата работа по моделированию катодных полосок.

## 1.2.2 Обработка данных с ВЭПП-2М.

Продолжился анализ данных экспериментов, проведенных с СНД на ВЭПП-2М в период с 1995 по 2000 гг. Опубликована статья по изучению в экспериментах с СНД на ВЭПП-2М процесса  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ . В работе измерено сечение этого процесса в области энергии  $\sqrt{s}=980,1040 \div 1380$  МэВ. Число событий искомого процесса нормировались на число событий процессов  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$  и  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ . Точность измерения сечения составила в первом случае 1,6%, а во втором 1,8%. Отношение измеренного сечения к расчётному значению составляет  $1,006 \pm 0,007 \pm 0,016$  и  $1,005 \pm 0,007 \pm 0,018$  соответственно. Используя полученные результаты было определено значение константы  $\alpha$  электромагнитного взаимодействия в области энергии  $\sqrt{s}=1040 \div 1380$  МэВ:  $\langle 1/\alpha \rangle = 134,1 \pm 0,5 \pm 1,2$  (рис. 3).

Кроме того, было определено сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$  в области углов  $30^\circ < \theta_{e^\pm} < 150^\circ$  с систематической погрешностью 1,1%, при этом число событий процесса  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$  нормировались на число событий процесса  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ . Отношение измеренного сечения к расчёту составляет  $0,999 \pm 0,002 \pm 0,011$ .

В эксперименте с СНД на ВЭПП-2М измерено сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  в диапазоне энергии до 1 ГэВ (рис. 4). В области энергии  $920 < \sqrt{s} < 980$  МэВ измерение имеет наилучшую в мире точность. В области  $\sqrt{s} < 920$  МэВ данное сечение измерено впервые. Впервые определена вероятность распада  $\rho \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ , которая составила  $B(\rho \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0) = (1,60 \pm 0,74 \pm 0,18) \cdot 10^{-5}$ .

Верхний предел на распад  $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  был понижен на 2 порядка по сравнению с предыдущими измерениями и составил  $B(\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0) < 2 \cdot 10^{-4}$  на уровне достоверности 90%.

Направлена в печать статья, посвященная поиску процесса  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0$  в области энергии от 1,2 до 1,38 ГэВ.

Завершается анализ процессов  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma\gamma$ ,  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$  ( $\eta \rightarrow 2\gamma$ ),  $e^+e^- \rightarrow K^+K_s^-\pi^+$  ( $K_s^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ )  
Продолжается анализ процессов  $e^+e^- \rightarrow \pi^0\gamma$ ,  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  ( $2E > 1$  ГэВ),  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ ,  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ .

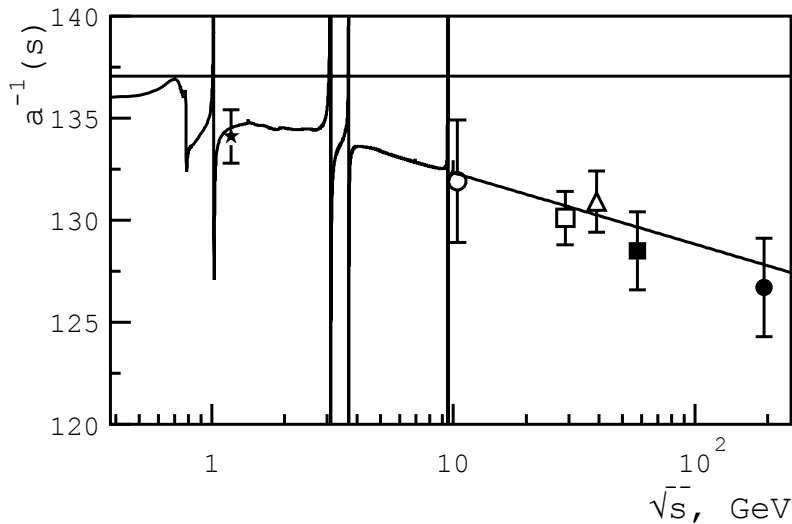


Рис. 3. Значения  $1/\alpha(s)$ , полученные по результатам различных экспериментов. Показаны результаты СНД (★), TOPAZ (■) и OPAL (●). Также показаны точки, вычисленные по результатам экспериментов, выполненных на коллайдерах DORIS (○), PEP (□) и PETRA(Δ). Горизонтальная линия показывает значение  $1/\alpha(0)$ , кривая линия соответствует теоретическому расчёту  $1/\alpha(s)$ .

### 1.2.3 Участие в международных проектах.

В 2009 году коллаборацией BABAR опубликовано и подготовлено к печати около 50 работ. С непосредственным участием физиков ИЯФ проводится анализ данных по трем направлениям: измерение сечений  $e^+e^-$  в адроны методом радиационного возврата, исследование двухфотонных процессов с регистрацией рассеянных электронов и измерение величины элемента СКМ матрицы  $|V_{ub}|$

С использованием методики радиационного возврата в 2009 году измерено сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  при энергиях от порога реакции до 3 ГэВ. На настоящий момент это наиболее точное и полное измерение сечения  $e^+e^-$  аннигиляции в два пиона. Систематическая ошибка определения сечения в области  $\rho(770)$ -резонанса не превышает 0,5%. По этим данным вычислен вклад процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  в аномальный магнитный момент мюона:

$$\alpha_\mu^{\pi\pi} = (514,1 \pm 3,8) \times 10^{-10},$$

который имеет точность, сравнимую с точностью комбинации всех предыдущих данных, полученных в  $e^+e^-$  столкновениях,  $(503,5 \pm 3,5) \times 10^{-10}$ . Разность между этими двумя величинами составляет около двух стандартных отклонений.

Опубликован результат по измерению переходного формфактора процесса  $\gamma^* \rightarrow \gamma\pi^0$  в области квадрата переданного импульса  $Q^2$  от 2 до 40 ГэВ<sup>2</sup>. Формфактор измерялся в двухфотонной реакции  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\pi^0$ , когда один из конечных электронов рассеивается на большой угол. В работе был получен неожиданный результат: при  $Q^2 > 10$  ГэВ<sup>2</sup> формфактор превышает асимптотический предел, предсказываемый в рамках КХД. Этот результат противоречил большинству имеющихся на тот момент теоретических моделей. Работа вызвала большой интерес со стороны теоретиков. В настоящий момент на нее имеется уже 30 ссылок.

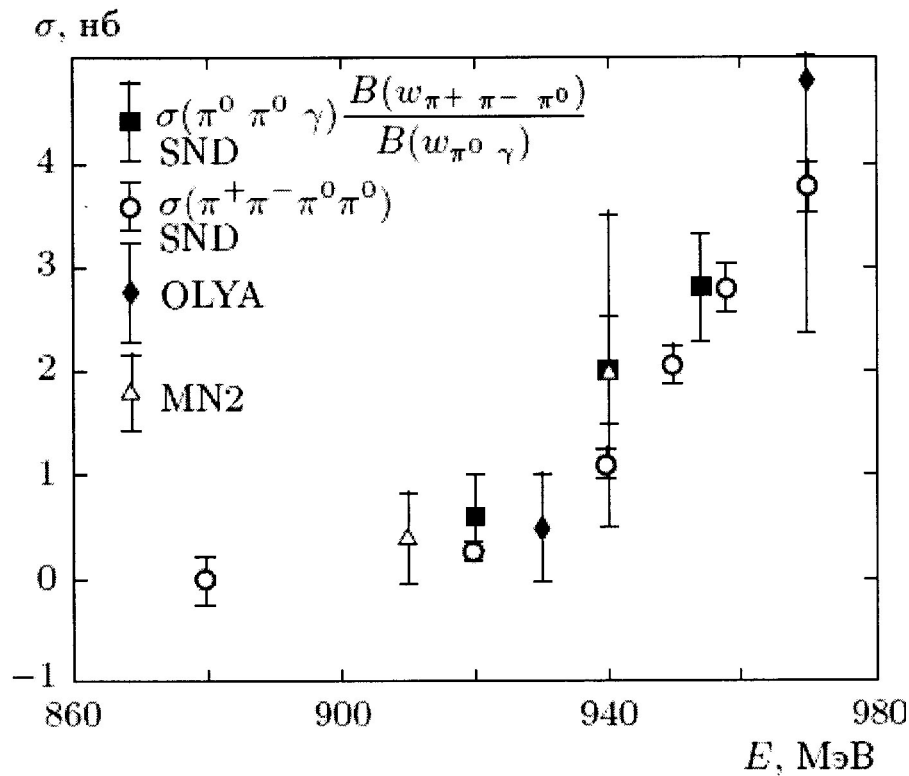


Рис. 4. Сечение реакции  $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ , данная работа - (○), DM2 - (△), OLYA - (◆), (■) - сечение процесса  $e^+ e^- \rightarrow \omega \pi^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \gamma$ , умноженное на отношения соответствующих вероятностей распада.

В 2009 году продолжалось сотрудничество между ИЯФ СО РАН и ИФВЭ КНР по созданию системы измерения энергии Пекинской  $s - \tau$  фабрики (BEPC-II) методом обратного комптоновского рассеяния. В ИЯФ СО РАН были спроектированы, изготовлены и испытаны устройства ввода лазерного луча в вакуумную камеру BEPC-II. В систему измерения энергии входят два устройства: одно - для электронного и другое - для позитронного колец. Устройство представляет собой вакуумную камеру с окном для ввода лазерного излучения, изготовленного из GaAs, и подвижного медного зеркала с водяным охлаждением внутри камеры. Камеры были доставлены в Пекин и установлены на BEPC-II. Давление остаточного газа после откачки камер составило  $1,3 \cdot 10^{-10}$  Торр.

Детектор фотонов изготовлен из высокочистого германия (HPGe). Испытания и проверки HPGe детектора были проведены на коллайдере ВЭПП-4М. Энергия пучка была измерена методом обратного комптоновского рассеяния с использованием детектора и одновременно методом резонансной деполяризации. Результаты совпали с точностью  $1,3 \cdot 10^{-3}\%$ . После испытаний детектор был доставлен в ИФВЭ. Создана, отлажена и проверена система сбора и обработки данных с германиевого детектора. Таким образом, создание системы практически завершено.

#### 1.2.4 Развитие экспериментальной методики.

В 2009 году продолжились работы по созданию рентгеновских детекторов. За прошедший год были собраны два детектора серии ОД-3М, проведены испытания и осуществлена их поставка заказчиком: ИК СО РАН и ИХТТМ СО РАН. В настоящее время ведется сборка двух новых детекторов ОД-3М, а также подготовка некоторых элементов конструкции для еще одного детектора.

Учитывая опыт применения метода обратного комптоновского рассеяния на ВЭПП-4М и создания подобной системы на ВЕРС-II был предложен аналогичный проект для ВЭПП-2000. Проектная относительная точность измерения энергии пучков  $< 10^{-4}$ . Такая точность необходима для прецизионного измерения сечения  $e^+e^- \rightarrow$  адроны. В качестве области фотон-электронного взаимодействия предлагается использовать длинный прямолинейный промежуток с нулевой дисперсией, в котором расположен резонатор ВЭПП-2000.

Главное преимущество метода обратного комптоновского рассеяния над другими методами состоит в том, что прямое измерение энергии пучков происходит непосредственно во время набора данных во всём диапазоне энергии ВЭПП-2000, тем самым обеспечивая постоянный контроль режима работы накопителя.

В 2009 году по работам СНД опубликовано 9 статей, 2 работы доложены на Международной конференции "От  $\phi$  до  $\psi$ ", состоявшейся в октябре 2009 года в Пекине (Китай), 3 доклада - на сессии Отделения ядерной физики РАН. Лаборатория имеет 5 грантов на сумму около 2,5 млн. рублей.

В 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, Е.П.Волкова, 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.Сковпень, 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 (рис. 1) - 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.

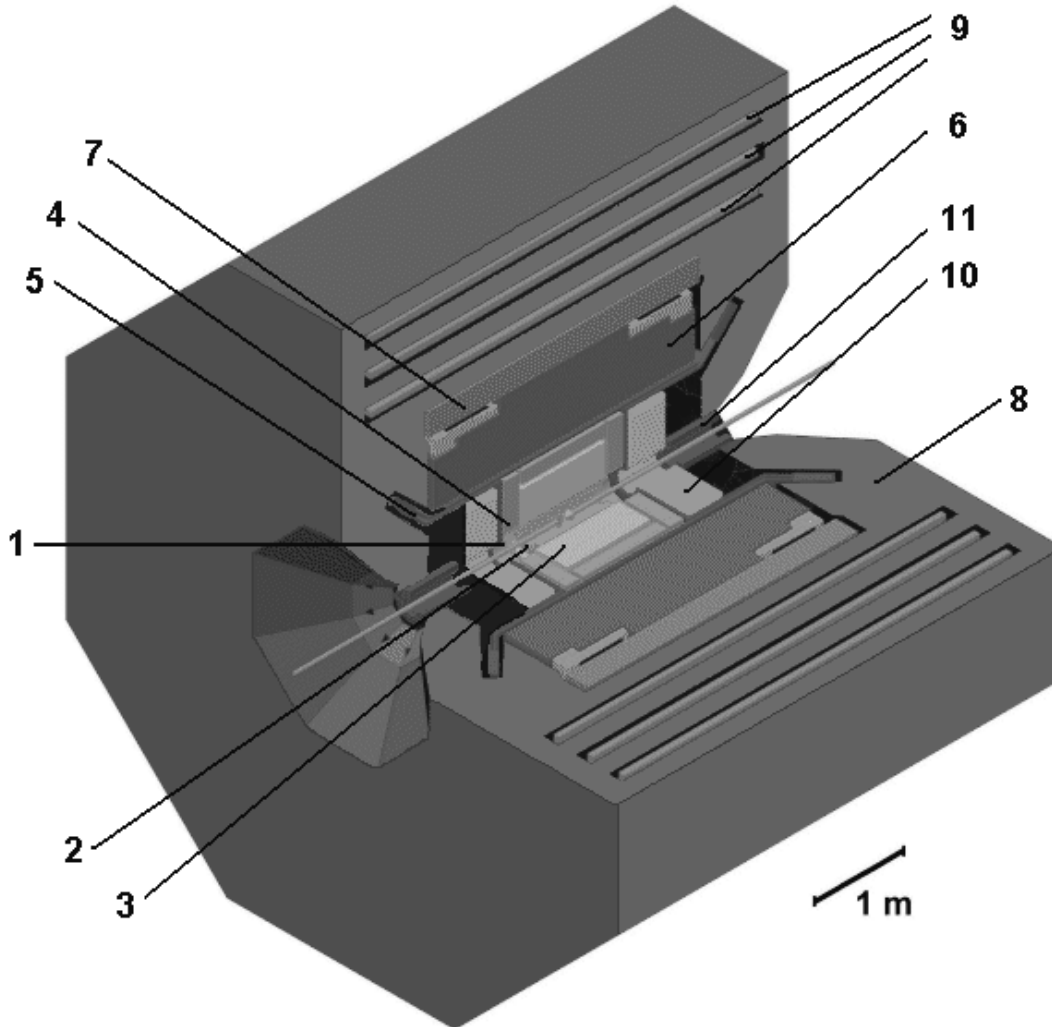


Рис. 1. Детектор КЕДР. 1 - вакуумная камера ускорителя, 2 - вершинный детектор, 3 - дрейфовая камера, 4 - аэрогелевые пороговые счётчики, 5 - времяпролетные счётчики, 6 - баррельный жидкокриптоновый калориметр, 7 - сверхпроводящая катушка, 8 - ярмо, 9 - мюонные камеры, 10 - торцевой CsI калориметр, 11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

Детектор КЕДР включает следующие основные системы: вершинный детектор, дрейфовую камеру, аэрогелевые пороговые черенковские счётчики, времяпролётные сцинтилляционные счётчики, баррельный электромагнитный калориметр на основе жидкого криптона, торцевой электромагнитный калориметр на основе кристаллов CsI, сверхпроводящую магнитную катушку, мюонную систему, систему регистрации рассеянных электронов для изучения  $\gamma\gamma$  физики и монитор светимости. Основные параметры детектора КЕДР приведены в Таблице 1. Более подробно детектор описан в Ежегодном научном отчёте за 2008 год.

Уникальной особенностью экспериментов с детектором КЕДР является возможность прецизионного измерения энергии пучков. Для этого используется два метода: метод резонансной деполяризации и метод обратного комптоновского рассеяния. Это позволяет, несмотря на умеренную светимость коллайдера ВЭПП-4М, получать значимые физические результаты, некоторые из которых являются лучшими в мире.



Таблица 1. Основные параметры детектора КЕДР.

Система	Параметры системы	
Вершинный детектор	Пространственное разрешение	250 мкм
Дрейфовая камера	Пространственное разрешение	100 мкм
Аэрогелевые черенковские счётчики	Разделение $\pi/K$ в интервале импульсов	0,6 - 1,5 ГэВ/с
Времяпролетные сцинтилляционные счётчики	Телесный угол	95% от $4\pi$
	Разрешение по времени пролета	320 - 350 пс
	Разделение $\pi/K$ на уровне достоверности $2\sigma$ при импульсе	680 МэВ/с
Баррельный LKг калориметр	Полярный угол	$38^\circ$ - $142^\circ$
	Энергетическое разрешение на $E_c = 1,5$ ГэВ	3%
Торцевой CsI калориметр	Угол от оси пучков	$6^\circ$ - $38^\circ$
	Энергетическое разрешение на $E_c = 1,5$ ГэВ	3%
Мюонная система	Телесный угол	67% от $4\pi$
	Пространственное разрешение	40 мм
	Толщина в ядерных длинах	6 - 7
Система регистрации рассеянных электронов	Интервал по массе $\gamma\gamma$ системы	0,14 - 4 ГэВ
	Разрешение по массе $\gamma\gamma$ системы	5 - 20 МэВ
Монитор светимости	Регистрируемый процесс	$e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$
	Относительная точность	3 - 4%
	Абсолютная точность	5%
Криогенная система	27 тонн LKг при температуре $120^\circ\text{K}$	
	Основное поле детектора	0,6 - 1,8 Т

## 1.4 Результаты работы детектора КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М в 2009 году.

В сезоне 2009 года продолжался набор статистики с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М в области низких энергий от  $2E=1,85$  ГэВ до 3,1 ГэВ, основной целью которого был поиск узких резонансов и измерение  $R$ . Был набран интеграл светимости около  $0,28$  пб<sup>-1</sup>. В прошедшем году, как и в 2007, 2008 годах, из-за отсутствия финансирования эксперимент с детектором КЕДР на ВЭПП-4М проводился меньше запланированного времени: 2,5 месяца вместо восьми.

В 2009 году была продолжена обработка набранной ранее статистики и начата обработка новых данных. К наиболее значимым новым физическим результатам относятся следующие.

- Интеграл светимости на  $J/\psi$  увеличен до  $1,5$  пб<sup>-1</sup> (около 6 миллионов распадов).
- Проведено сканирование области  $2E=1,85$ -3,1 ГэВ и поставлен в 3 раза более низкий, чем раньше, предел на электронную ширину узких резонансов.
- Получен результат по  $\Gamma_{ee} \times B_{ee}$  и  $\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu}$  для распадов  $J/\psi$  с лучшей в мире точностью.
- Закончена обработка эксперимента по измерению масс заряженных и нейтрального D-мезонов. Масса заряженного D-мезона измерена с лучшей в мире точностью.
- Получен новый результат по измерению массы и ширины  $\psi(3770)$ . Масса

измерена с лучшей в мире точностью, а её величина заметно зависит от учёта интерференции резонанса с нерезонансной  $D-\bar{D}$  подложкой.

- Получен предварительный результат по  $B(J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c)$  по точности сравнимый с точностью в таблицах элементарных частиц Particle Data Group (PDG).

По результатам экспериментов с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М представлен ряд докладов на международных и всероссийских совещаниях и конференциях. Доклады, полностью основанные на результатах с детектора, перечислены ниже:

- Доклад на Europhysics Conference on High Energy Physics (EPC2009), 2009 г., Краков.

- 3 доклада на Sixth International Workshop on  $e^+e^-$  collisions from  $\phi$  to  $\psi$  (PHIPSI09), 2009 г., Пекин.

- 6 докладов на научной сессии-конференции секции ядерной физики отделения физических наук РАН 2009 (ИТЭФ).

Эксперименты с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М в 2009 году были поддержаны восемью грантами РФФИ.

Результаты экспериментов с детектором КЕДР опубликованы в 2009 г. в статьях [15,143,75-79], препринтах [5,46-48], доложены на конференциях [24,337-349].

Далее последние результаты экспериментов с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М описаны более подробно.

### 1.4.1 Измерение $\Gamma_{ee} \times B_{ee(\mu\mu)} J/\psi$ мезона.

В 2009 году была продолжена обработка данных эксперимента по прецизионному измерению величин  $\Gamma_{ee} \times B_{ee}$  и  $\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu}$ , где  $B_{ee} = \Gamma_{ee}/\Gamma$ ,  $B_{\mu\mu} = \Gamma_{\mu\mu}/\Gamma$ . В результате, точность удалось еще улучшить по сравнению с тем, что было опубликовано в Ежегодном отчете за 2008 год. Анализ основан на том же интеграле светимости  $0,22 \text{ пб}^{-1}$ , набранном в сканировании  $J/\psi$  резонанса.

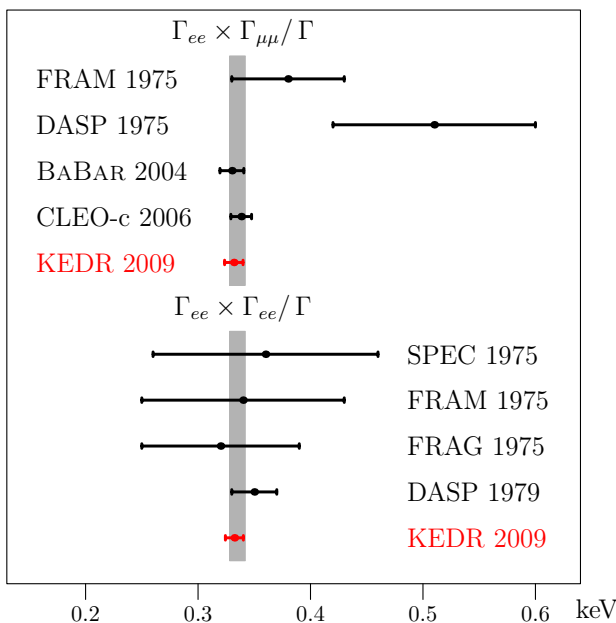


Рис. 2. Произведения электронной ширины  $J/\psi$  мезона на вероятности его распада в  $e^+e^-$  и  $\mu^+\mu^-$

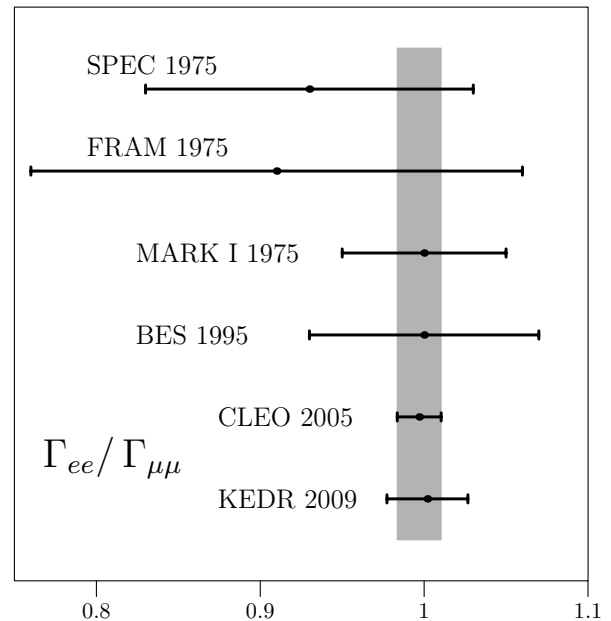


Рис. 3. Отношение  $\Gamma_{ee}/\Gamma_{\mu\mu}$  в разных экспериментах для  $J/\psi$  мезона.

Ранее наилучшая точность измерения величины  $\Gamma_{ee} \times B_{ee}$  была достигнута в эксперименте DASP в 1979 г. и составляет 6%. Величина  $\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu} = 0,335 \pm 0,007$  кэВ, приведённая в таблицах PDG, имеет точность 2,1%. Она основана на недавних измерениях детекторов BaBar и CLEO-с методом радиационного возврата.

Результат измерения детектора КЕДР

$$\Gamma_{ee} \times B_{ee} = (0,3323 \pm 0,0064 \pm 0,0048) \text{ кэВ,}$$

$$\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu} = (0,3318 \pm 0,0052 \pm 0,0063) \text{ кэВ}$$

имеет лучшую в мире точность (около 2,4%).

В сезоне 2007-2008 гг. интеграл светимости в области  $J/\psi$  был увеличен до  $1,8 \text{ пб}^{-1}$ . В результате этого мы ожидаем понижения статистической ошибки до 1% и дальнейшего улучшения точности измерения  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ll} / \Gamma$ .

Сравнение с результатами других экспериментов представлено на рис. 2. Вертикальная полоса соответствует неопределённости табличных значений величин  $\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu}$  и  $\Gamma_{ee} \times B_{ee}$ .

Независимое измерение величин  $\Gamma_{ee} \times B_{ee}$  и  $\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu}$  в эксперименте позволяет проверить выполнение  $e - \mu$  универсальности – основополагающего принципа Стандартной модели. Из него следует равенство этих величин. Их отношение в эксперименте с детектором КЕДР равно

$$\Gamma_{ee} / \Gamma_{\mu\mu} = 1,002 \pm 0,021 \pm 0,013 .$$

Сравнение величины отношения  $\Gamma_{ee} / \Gamma_{\mu\mu}$  в разных экспериментах показано на рис. 3. Среднее значение этой величины в таблицах PDG (вертикальная полоса на рис. 3) в настоящее время определяет измерение детектора CLEO. Результат детектора КЕДР лишь немного уступает по точности результату CLEO.

Измерение  $\Gamma_{ee} \times B_{ee}$  и  $\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu}$  было представлено на PHIPSI09 в Пекине, на его основе написана статья, принятая к опубликованию в журнале Physics Letters B.

Эксперимент по измерению  $\Gamma_{ee} \times B_{ee}$  и  $\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu}$  для  $J/\psi$  резонанса с лучшей в мире точностью был признан Учёным советом лучшей работой Института по физике элементарных частиц в 2009 году.

## 1.4.2 Измерение масс $D$ мезонов.

Нейтральный и заряженный  $D$  мезоны являются самыми лёгкими из очарованных частиц. Точное знание их масс важно, так как оно является точкой отсчёта для спектроскопии содержащих  $s$ -кварки возбуждённых состояний. Это измерение необходимо и для понимания природы недавно открытого узкого состояния  $X(3872)$ , близкого по массе к порогу рождения пары  $D^0 - D^{*0}$ . Долгое время точность измерения масс  $D$ -мезонов в таблицах составляла 0,5 МэВ. В 2007 году коллаборация CLEO-с выполнила анализ распада  $D^0 \rightarrow K_s \phi$  и опубликовала результат измерения массы  $D^0$  мезона с точностью 0,18 МэВ, который определяет точность этой массы в последних таблицах PDG.

В эксперименте с детектором КЕДР с целью измерения масс нейтрального и заряженного  $D$  мезонов на интеграле светимости  $0,9 \text{ пб}^{-1}$  проведён анализ распадов  $\psi(3770) \rightarrow D - \bar{D}$ . В 2009 году выполнена новая обработка и получены значения масс

$$M_{D^0} = (1865,30 \pm 0,33 \pm 0,23) \text{ МэВ,} \quad M_{D^+} = (1869,53 \pm 0,49 \pm 0,20) \text{ МэВ.}$$

По сравнению с результатом 2008 года заметно уменьшена систематическая ошибка.

Это значение массы  $D^0$  мезона согласуется с более точным измерением CLEO-с, полученным другим методом, а измерение массы  $D^\pm$  мезона является наиболее точным прямым измерением. Результат детектора КЕДР по измерению масс  $D^0$  и  $D^\pm$  мезонов хорошо согласуется с результатами других экспериментов и средними значениями таблиц PDG (рис. 4 и рис. 5). Вертикальная полоса соответствует неопределённости среднего значения массы в таблицах.

Этот результат эксперимента по измерению масс  $D^0$  и  $D^\pm$  был доложен на RHPSI09, статья будет опубликована в Physics Letters B.

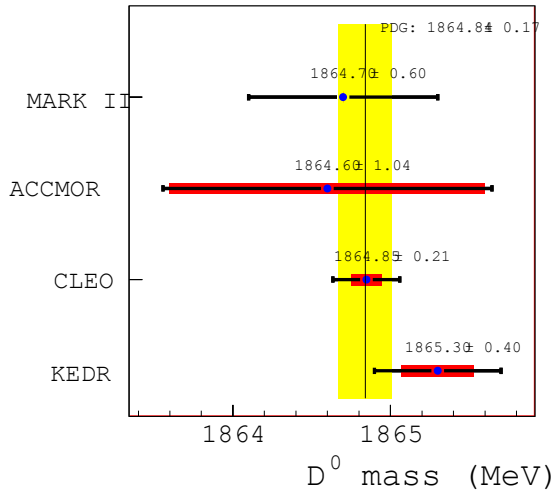


Рис. 4. Масса  $D^0$  мезона.

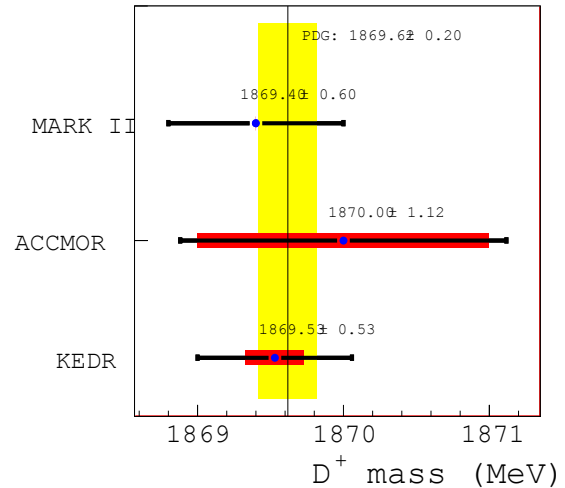


Рис. 5. Масса  $D^\pm$  мезона.

### 1.4.3 Измерение массы и полной ширины $\psi(3770)$ мезона.

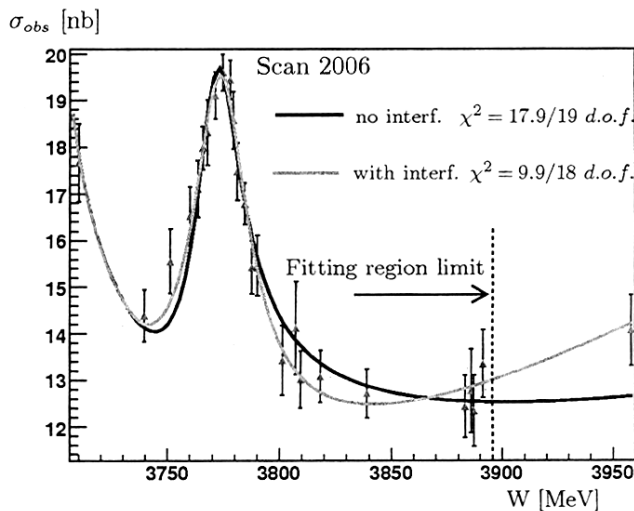


Рис. 6. Наблюдаемое сечение в области  $\psi(3770)$ .

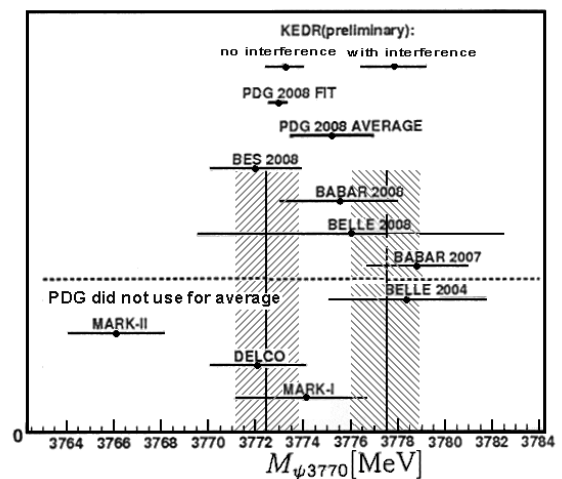


Рис. 7. Масса  $\psi(3770)$ .

Хотя резонанс  $\psi(3770)$  был открыт тридцать лет назад, результаты измерения массы резонанса в различных экспериментах довольно сильно отличаются, и с его теоретическим описанием до сих пор нет ясности.

Для измерения параметров  $\psi(3770)$  в течение 2004 и 2006 годов с детектором КЕДР было проведено три сканирования широкой области от  $\psi'$  до 3,95 ГэВ и набран суммарный

интеграл светимости  $\int L dt \approx 2,4 \text{ пб}^{-1}$ .

Стандартный способ обработки данных не учитывает интерференцию продуктов распада резонанса с нерезонансной  $D\bar{D}$  подложкой. В последние годы в части экспериментов такую интерференцию учитывают.

На рис. 6 показана подгонка данных КЕДРа (использовано сканирование 2006 г. с наибольшей статистикой) двумя методами. В первом случае (черная линия) получены следующие параметры резонанса:

- $M = 3773,2 \pm 0,5 \pm 0,6 \text{ МэВ}$ ,
- $\Gamma_{tot} = 23,9 \pm 2,2 \pm 1,1 \text{ МэВ}$ ,
- $\Gamma_{ee} = 294 \pm 22 \pm 30 \text{ эВ}$ .

С учётом интерференции получено:

- $M = 3777,8 \pm 1,1 \pm 0,7 \text{ МэВ}$ ,
- $\Gamma_{tot} = 28,2 \pm 3,1 \pm 2,4 \text{ МэВ}$ ,
- $\Gamma_{ee} = 312 \pm 31 \pm 30 \text{ эВ}$ .

Учёт интерференции существенно улучшает качество подгонки и увеличивает массу  $\psi(3770)$  на 4,6 МэВ.

На рис. 7 собраны данные измерений массы  $\psi(3770)$  в разных экспериментах двумя указанными выше методами. Результат КЕДРа получен на всей статистике и имеет наилучшую точность. Все данные разделились на 2 группы. Левая группа данных (включая PDG) получена стандартным методом, правая – с учётом интерференции. Левая вертикальная полоса – результат усреднения масс  $\psi(3770)$ , полученных во всех экспериментах без учёта интерференции, ширина полосы равна  $\pm 1$  стандартной ошибке. Правая вертикальная полоса относится к данным с учётом интерференции. Видно, что разность средних значений масс составляет около 5 МэВ и превышает 2 стандартных ошибки.

Этот результат был доложен на RHPSI09.

#### 1.4.4 Измерение вероятности распада $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c$

Интерес к измерению вероятности радиационного распада  $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c$  обусловлен тем, что в настоящее время есть заметное отличие экспериментальных данных от теоретических расчётов с использованием потенциальных моделей взаимодействий кварков и правил сумм КХД.

До недавнего времени табличное значение этой вероятности было основано на единственном прямом измерении в инклюзивном спектре фотонов, выполненном детектором Crystal Ball:  $B(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c) = (1,3 \pm 0,4)\%$ . Эта величина вероятности вдвое меньше, чем следует из теоретических расчётов ( $B=2,5\text{-}3\%$ ).

В 2008 г. детектор BaBar опубликовал измерение величины  $B(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c)$  в эксклюзивных распадах  $B(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c) = (0,8 \pm 0,2)\%$ , в 2009 г. детектор CLEO также в эксклюзивных распадах получил  $B(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c) = (1,98 \pm 0,09 \pm 0,30)\%$ .

Экспериментальные данные для величины  $B(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c)$  плохо согласуются между собой и, за исключением результата CLEO, с теорией. Поэтому дополнительное, независимое измерение вероятности этого распада, желательно в инклюзивном спектре фотонов, могло бы дать понимание того, в чём причина этого расхождения.

Анализ данных детектора КЕДР основан на интеграле светимости  $1,5 \text{ пб}^{-1}$ , набранном детектором в пике  $J/\psi$ . Расчётное число рождённых  $J/\psi$  составляет  $(5,9 \pm 0,3) \cdot 10^6$ . Получены следующие предварительные результаты измерения  $B(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c)$ , а также  $M(\eta_c)$  и  $\Gamma(\eta_c)$  в инклюзивном спектре фотонов:

$$B(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c) = (2,34 \pm 0,43)\%$$

$M(\eta_c) = 2979,4 \pm 2,4$  МэВ,

$\Gamma(\eta_c) = 27,8 \pm 6,1$  МэВ.

Сравнение измерения  $B(J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c)$  с результатами других экспериментов представлено на рис. 8.

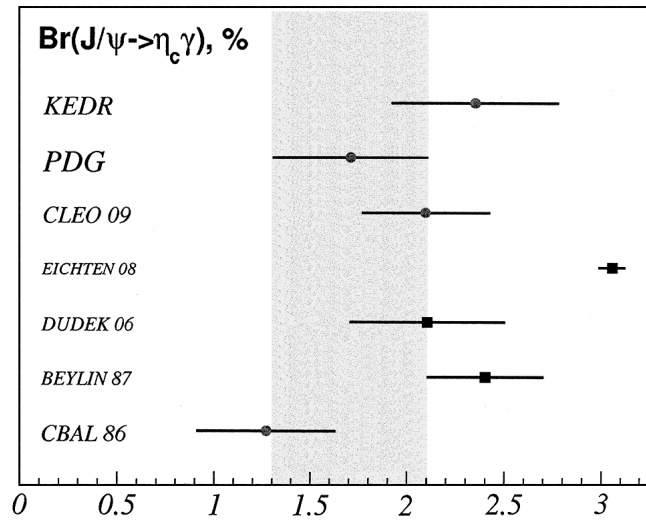


Рис. 8. Вероятность распада  $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c$ .

Вертикальная полоса соответствует неопределённости табличного значения вероятности распада  $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c$ .

Этот результат был доложен на RHPSI09.

### 1.4.5 Поиск узких резонансов

Поиск узких резонансов в  $e^+e^-$  аннигиляции представляет несомненный интерес и может приносить открытия, подобные недавнему обнаружению узкого состояния  $X(3872)$  с шириной около 3 МэВ.

Данный эксперимент с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М был выполнен в начале 2009 г., представленные далее результаты являются предварительными. Сканирование было начато выше  $J/\psi$  и завершилось при  $2E=1,85$  ГэВ. Поиск узких резонансов проводился при помощи автоматического уменьшения энергии в системе центра масс приблизительно на  $2\sigma_w$  (1,4-1,9 МэВ) после набора требуемого интеграла светимости. Первоначально набранная светимость варьировалась от  $0,3$  нб<sup>-1</sup> в верхней части энергетического интервала до  $0,12$  нб<sup>-1</sup> в нижней части. Набранные в каждой точке данные анализировались в реальном времени. Если после предварительного набора число событий-кандидатов превышало некоторый порог, интеграл светимости удваивался. Это позволяет улучшить чувствительность эксперимента.

Полный интеграл светимости составил  $0,28$  пб<sup>-1</sup>. Светимость во время набора статистики измерялась по процессу однократного тормозного излучения, а при анализе – по процессу Баба-рассеяния. Энергия пучка измерялась с помощью обратного комптоновского рассеяния.

Результат измерения детектора КЕДР – произведение электронной ширины резонанса на вероятность распада резонанса  $X$  в адроны – показан на рис. 9. В интервале  $2E=1,85$ - $3,1$  ГэВ получен предел в 3 с лишним раза лучший, чем в эксперименте на ADONE (500 эВ):

$$\Gamma_{ee} \times B_{X \rightarrow \text{hadr}} < 150 \text{ эВ}, 95\% \text{ CL}$$

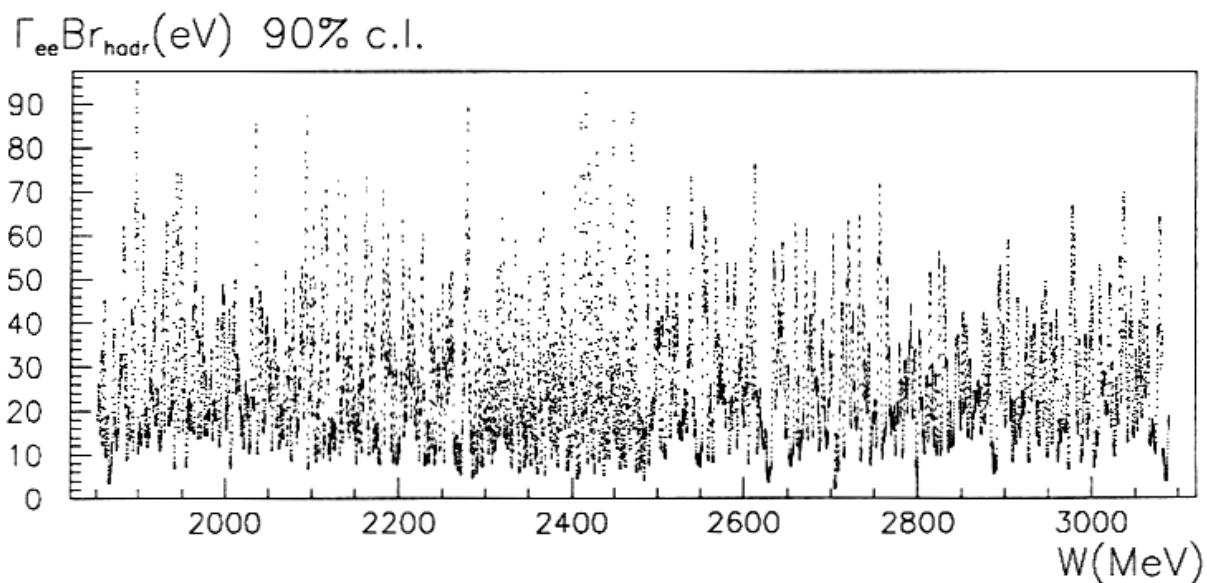


Рис. 9. Поиск узких резонансов.

Этот результат был доложен на RHPSI09.

## 1.5 Детекторы для ФВЭ

В 2009 году, как и в предыдущем, усилия в области электроники детектора КЕДР были сосредоточены на поддержании функционирования многочисленных электронных систем детектора и сводились, в основном, к текущему ремонту.

Также изучалась возможность использования оцифровывающей электроники дрейфовой камеры в режиме обработки двух треков в ячейке (режим *multihit*). Изготовлен и находится на тестировании комплект новой электроники для дрейфовых трубок.

В 2009 году достигнут определенный прогресс по делам, связанным с системой рассеянных электронов детектора КЕДР и её включению в систему сбора данных детектора. Основные проблемы на данный момент связаны со сбоями программного обеспечения.

Работы по модернизации электроники различных систем детектора СНД завершены. В 2009 году установлен новый Интерфейс Первичного Триггера (ИПТ) калориметра.

Изготовлен модуль прототипа быстрого АЦП (*Flash ADC*) для электроники калориметра. Начата работа по поэтапной модернизации внутренней электроники детектора (предусилители и кросс-платы). Для дрейфовой камеры детектора изготовлены и установлены новые предусилители сигналов с проволочек и полосок.

Для калориметров детектора КМД-3 завершено изготовление и настройка полного комплекта плат оцифровывающей электроники (~90шт.).

## 1.6 Рентгеновские детекторы

В 2009 г. продолжались эксперименты по изучению динамики взрывов и измерению параметров образцов на канале СИ с использованием однокоординатного детектора DIMEX-1 на 256 каналов.

Завершены испытания нового детектора DIMEX-3 на 512 каналов в корпусе более удобной конструкции. В детекторе используется печатная плата электроники с нанесенной на нее полосковой структурой для детектора. Написано новое программное обеспечение, обеспечивающее более удобный интерфейс для управления, обработки и представления результатов экспериментов. Дальнейшие эксперименты планируются с этим детектором.

В 2009 году продолжались работы по изготовлению корпуса 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.

В рамках модернизации детекторов серии ОД-3 с целью повышения их надежности и улучшения параметров был разработан однокоординатный рентгеновский детектор следующего поколения - ОД-3М. Первый детектор этого типа был изготовлен по контракту с КЦСИ в 2008 году. В 2009 году изготовлены и переданы заказчикам (ИХТТ и МХ СО РАН и ИК СО РАН) два детектора ОД-3М.

## 1.7 Прочие работы

В рамках международных проектов продолжено активное участие в работах, связанных с модернизацией системы сбора данных детектора BELLE (КЕК, Япония). Изготовлены и находятся в стадии испытания после коррекции прототипы новой электроники для баррельной части калориметра на кристаллах CsI(Tl). В конце 2009 года на предприятиях в Корею по нашей разработке были изготовлены и доставлены в КЕК образцы новой электроники в стандарте VME – шейпер и коллектор. В настоящий момент идет их тестирование. Список публикаций: [40], [131], [39].



## 1.8 Микроструктурные газовые детекторы

Развитие детекторов на основе Газовых Электронных Умножителей (ГЭУ) было продолжено в 2009 году. Работа проводилась в нескольких направлениях:

- 1) Развитие криогенных двухфазных лавинных детекторов на основе ГЭУ.
- 2) Модернизация системы рассеянных электронов в эксперименте КЕДР.
- 3) Развитие газового детектора низкого давления на основе толстых ГЭУ для идентификации ионов на установке АМС.
- 4) Участие в коллаборации RD51 в CERN по развитию микроструктурных газовых детекторов.
- 5) Участие в исследованиях по ТРС для International Linear Collider.

1) Основной целью проекта является развитие методов регистрации нейтрино и темной материи и медицинской визуализации с помощью разработки специальных детекторов на основе газовых электронных умножителей (ГЭУ), 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 Ar и Xe, регистрации солнечных нейтрино с использованием двухфазных или сжатых Ne и Ne, регистрации темной материи с использованием двухфазных Ar и Xe и в позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) с использованием двухфазного Xe.

В 2009 году были проведены исследования по физике электронной эмиссии

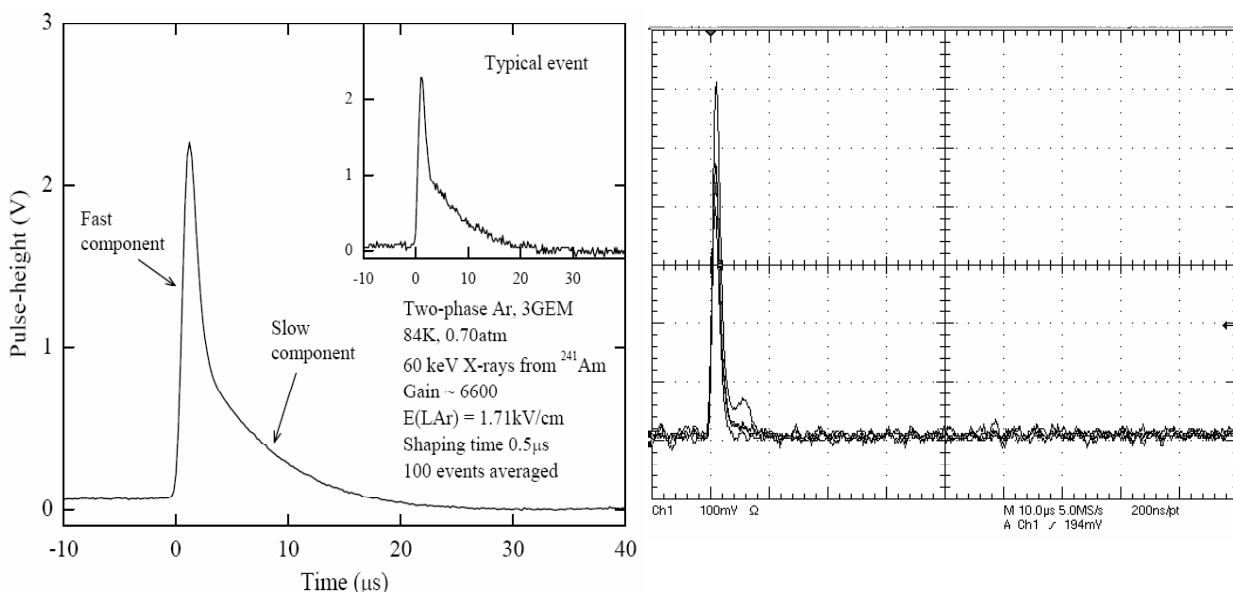


Рис. 1. Левый рисунок: сигнал в двухфазном лавинном детекторе в аргоне на основе ГЭУ при эмиссионном поле 1,7 кВ/см; присутствуют как быстрая, так и медленная компонента электронной эмиссии. Правый рисунок: сигнал в двухфазном лавинном детекторе в аргоне с примесью азота (1,5%); присутствует только быстрая компонента эмиссии.

в двухфазном детекторе в Ar и его смеси с N<sub>2</sub>, а именно по зависимости характеристик быстрой и медленной компонент эмиссии от электрического поля. Одновременно быстрая и медленная компоненты наблюдались впервые: см. рис. 1. Оказалось, что в чистом Ar медленная компонента доминирует вплоть до поля 2 кВ/см. Было обнаружено, что при добавлении N<sub>2</sub> в Ar медленная компонента исчезает, переходя в быструю компоненту (рис. 1). Была построена модель явления.

В 2009 году была закончена работа с криостатом с камерой объемом 2 л и начаты работы на новой установке, имеющей в составе криостат с камерой объемом 9 л. В этой камере для работы с двухфазным аргоном и ксеноном был смонтирован двухкаскадный толстый ГЭУ. Результаты суммированы ниже.

Были проведены криогенные испытания новой установки для работы с двухфазным Хе и Ar. С Хе криогеника работала успешно. Однако был выявлен ряд недостатков: высоковольтные разъемы не держали необходимого напряжения, а для работы с двухфазным Ar не хватало холодопритока. Тем не менее, на установке были получены предварительные результаты по работе толстых ГЭУ в Хе при криогенных температурах.

Осенью 2009 года была проведена существенная модернизация установки. Высоковольтные разъемы были полностью заменены на новые разъемы, изготовленные в лаборатории. В криогенную камеру был вставлен дополнительный охлаждающий контур для работы с двухфазным Ar; уменьшены мертвые зоны на дне камеры; усовершенствована система крепления сборки ГЭУ.

На модернизированной установке начаты исследования по новому направлению, а именно по считыванию ГЭУ с помощью кремниевых фотоумножителей (SiPM) как в газовом, так и в двухфазном режиме. Эти исследования ведутся в сотрудничестве с группой Д.Ю. Акимова (ИГЭФ). Исследования криогенных лавинных детекторов будут продолжены в 2010 году.

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

Для того, чтобы получить предельное разрешение по импульсу рассеянных электронов, обусловленное параметрами пучка в ускорителе, а также улучшить разделение сигнала и фона, каждая из 8 станций системы оснащается детектором на основе тройного ГЭУ с двух-координатным съемом. Детекторы позволяют измерять координату в плоскости орбиты с разрешением  $\sim 0,1$  мм. В направлении, перпендикулярном плоскости орбиты, пространственное разрешение составит  $\sim 0,25$  мм в области  $\pm 1$  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 2009 года проводилась отладка работы системы совместно с детектором КЕДР. Были проведены совместные измерения с имеющимися координатными станциями на основе дрейфовых трубок и показано, что результаты измерений, полученные с помощью детекторов на основе ГЭУ, коррелируют с результатами с координатных станций на основе дрейфовых трубок. В течение сезона 2009-1010 планируется окончательно включить детекторы на основе ГЭУ в систему сбора данных КЕДРа и начать набирать совместную статистику.

3) В 2009 году был собран стенд для проведения измерений с камерой низкого давления на основе ГЭУ. Был зарегистрирован сигнал от альфа-частиц в изобутане при давлении несколько Торр.

4) Группа микроструктурных газовых детекторов ИЯФ является членом международной коллаборации RD51 в CERN по развитию микроструктурных газовых детекторов, образованной в 2008 году. В 2009 году группа продолжила участие в деятельности этой коллаборации.

5) В 2009 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 сотрудники:

В. М. Аульченко, А. Е. Бондарь, А. Ф. Бузулуцков, А. А. Гребенюк (лаб. 2), В. В. Жуланов, Р. Г. Снопков, А. В. Соколов, Ю. А. Тихонов, А. В. Чегодаев, Л. И. Шехтман.

## 1.9 Участие в эксперименте ATLAS на Большом Адронном Коллайдере (ЛHC)

Группа физиков и инженеров из ИЯФ СО РАН участвует в коллаборации ATLAS на Большом Адронном Коллайдере (ЛHC) Европейского Центра Ядерных Исследований (CERN) с 1995 г. Группа внесла существенный вклад в строительство торцевого электромагнитного калориметра ATLAS на жидком аргоне на всех его этапах, начиная с проектирования. Предложенный вариант конструкции торцевого калориметра (более простой и надежный по сравнению с первоначальным) позволил существенно уменьшить стоимость калориметра, упростить его изготовление и улучшить физические характеристики, что было подтверждено в ходе испытаний модулей калориметра на выведенных пучках. Также для компенсации потерь энергии частиц в веществе криостата (и связанного с этим ухудшения энергетического разрешения) был предложен и успешно реализован (исключительно силами ИЯФ) специальный мини-детектор (пресамплер, см. рис. 1).

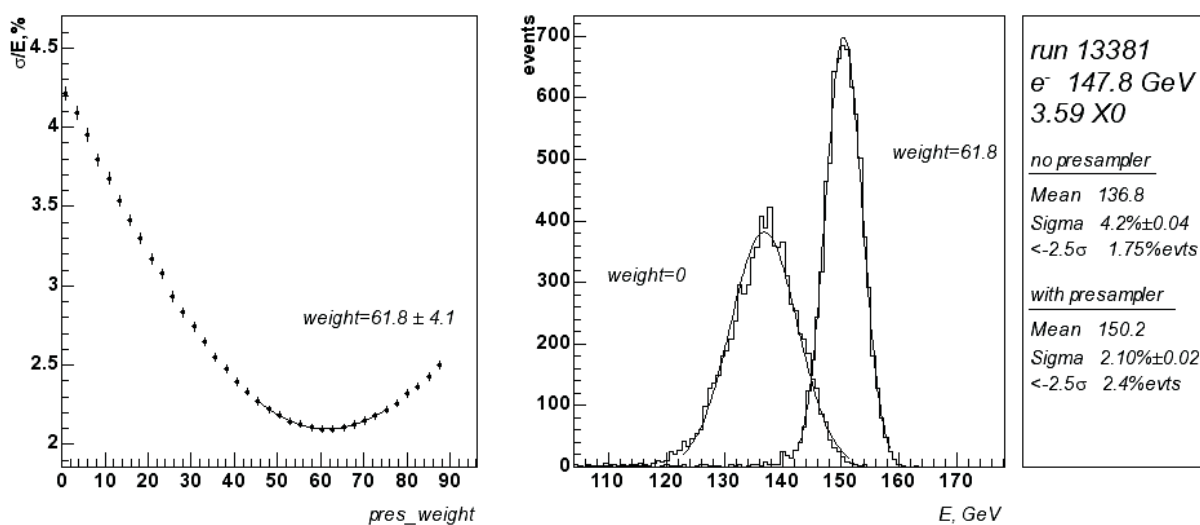


Рис. 1. Слева - зависимость энергетического разрешения от веса энергосвыделения в пресамплере. Справа - энергетические спектры до ( $weight=0$ ) и после ( $weight=61,8$ ) взвешивания энергосвыделения в пресамплере. Толщина мертвого вещества перед пресамплером - 3,59 радиационных длин. Данные тестовых пучков (ЦЕРН, 2002 год).

Большой вклад ИЯФ внес в инженерное обеспечение систем детектора и его инфраструктуры, были разработаны, изготовлены и смонтированы в шахте ускорителя ЛHC сверхпроводящие токопроводы на 20 кА для всех магнитов детектора ATLAS (центрального соленоида, торцевых и баррельного тороидов), а также большие (диаметр 25 м) кольца для прецизионного крепления мюонных камер.

Физики группы активно участвуют в работах по запуску калориметра, его калибровке, создании программного обеспечения для моделирования и реконструкции событий в де-

текторе, анализа интересных физических процессов.

В конце 2009 года (20-го ноября), после годичной паузы, вызванной необходимостью устранить последствия аварии в сверхпроводящих магнитах ускорителя, состоялся успешный запуск ускорителя и детекторов.

Менее чем за сутки были получены циркулирующие пучки на энергии инжекции 450 ГэВ и физики смогли зарегистрировать первые события в детекторах. Далее постепенно улучшались характеристики пучков, повышались число частиц в сгустке (до нескольких единиц  $\times 10^{10}$ ) и число сгустков (до 16). Уже 23 ноября удалось получить сталкивающиеся пучки при энергии в системе центра масс  $s=900$  ГэВ, а 8 декабря – при энергии  $s=2,36$  ТэВ (установив тем самым мировой рекорд). В режиме столкновений была набрана статистика 540 тысяч событий на энергии  $s=900$  ГэВ и 34 тысячи событий на энергии  $s=2,36$  ТэВ. Первые результаты показывают очень хорошее состояние систем детектора и программного обеспечения, имеется хорошее согласие данных с результатами моделирования протон-протонных столкновений при этих энергиях. После плановой остановки в конце февраля 2010 г. планируется включение ускорителя и детектора и работа в течение около полутора лет на энергии  $s=7$  ТэВ, чтобы набрать светимость порядка одного обратного фемтобарна. В дальнейшем планируется повышение энергии до проектной ( $s=14$  ТэВ).

Физики группы участвуют в наборе данных, мониторинге их качества и анализе. На событиях с одиночными пучками с большим энерговыделением в детекторе было показано, что все 1536 каналов пресамплера жидкоаргонового калориметра работоспособны. Временное разрешение даже без внесения поправок на положение ячейки оказалось лучше 1,5 нс. Форма импульса и шумы электроники хорошо согласуются с расчетами и предыдущими измерениями в пучковых тестах. Ведется работа по улучшению систем медленного контроля, надежному и эффективному занесению измеряемых параметров в базы данных.

Непрерывно ведется работа по улучшению калибровки систем детектора и соответствующего программного обеспечения. Также активизируются работы по анализу физических процессов. Были предложены улучшения алгоритма реконструкции пары топ кварк-антикварк в полулептонной моде распада (с регистрацией лептона и четырёх адронных струй в конечном состоянии). Были созданы программы для реконструкции и начаты работы по проверке и оптимизации метода определения времени жизни тау-лептона в канале  $Z \rightarrow \tau^+ \tau^- \rightarrow$  адроны.

С весны 2009 г. в рамках коллаборации с университетами Питтсбурга и Уппсалы 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). 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  $B-L$ ). Нужно заметить, что эта модель комплиментарна многим моделям суперсимметрии, поскольку для последних характерна большая недостающая энергия (**missing transverse energy**) в событиях. Результаты моделирования показывают, что для небольших масс тяжелых правого  $W'$  бозона ( $< 1$  ТэВ) и правого нейтрино (50-300 ГэВ) процесс можно выделить из фона Стандартной модели и наблюдать уже на интеграле светимости несколько сотен обратных 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. Неуклонно растет мощность локального GRID – кластера ИЯФ, улучшается пропускная способность каналов связи. Развивается сотрудничество с компьютерными центрами НГУ и СО

РАН. Также группа наших сотрудников работает над анализом и оптимизацией распределения задач в системе GRID в масштабах всего проекта LHC. Другая команда работает в группе администраторов Trigger & DAQ. Ими была предложена и реализована программа модернизации аппаратуры и программного обеспечения.

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 ATLASa 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 ноябре 2009 года).

В работах участвуют:

А.В. Анисёнков, Е.М. Балдин, Т.В. Бедарева, 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, К.Ю. Котов, Д.С. Кривашин, Р.Е. Кусков, В.М. Малышев, Д.А. Максимов, А.Л. Масленников, И.О. Орлов, С.Г. Пивоваров, С.В. Пелеганчук, К.Ю. Сковпень, А.М. Сухарев, А.А. Талышев, Ю.А. Тихонов, А.И. Хорошилов, А.Г. Шамов.

## 1. 10 Эксперимент Belle

Одним из основных экспериментов в физике элементарных частиц является эксперимент BELLE. Основная задача эксперимента заключается в изучении одного из самых загадочных явлений в физике элементарных частиц – CP-нарушения. В 2001 г. в этом эксперименте впервые обнаружено CP-нарушение в распаде  $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ , согласующееся с предсказанием модели Кобаяши-Маскавы. Сегодня, опираясь на измерения CP-нарушения в различных распадах  $B$ -мезонов, вычислены три угла Треугольника Унитарности, причем угол  $\phi_1$  - с точностью лучше полутора градусов. Точность прямых измерений двух других углов остается невысокой, порядка десяти-двадцати градусов. В процессе измерения CP-нарушения и редких распадов  $B$ -мезонов пока не обнаружено значимых отклонений от Стандартной Модели. Однако для её истинной проверки и поиска явлений за её пределами необходимо существенно повысить точность измерения CP-нарушения в различных каналах распадов  $B$ -мезонов, а также вероятностей и кинематических характеристик редких распадов  $B$ -мезонов. Другая важная проблема, на решение которой направлен эксперимент, состоит в изучении свойств сильного взаимодействия в адронах. Физика адронов переживает бурное развитие благодаря многочисленным открытиям в области их спектроскопии, распадов и рождения. В эксперименте BELLE найдено около десятка новых состояний, содержащих пару очарованных кварков. Большинство теоретиков полагают, что необычные свойства большинства найденных состояний трудно объяснить, не допуская существования экзотических систем. Экспериментальные исследования экзотических и традиционных адронов позволяют получить дополнительную информацию, необходимую для понимания природы сильного взаимодействия. Помимо  $B$ -мезонов на  $B$ -фабрике рождается сравнимое количество пар тау-лептонов и это дает возможность проводить прецизионные измерения относительных вероятностей различных мод распада и вести поиск распадов, запрещен-

ных в Стандартной Модели. Эти исследования позволяют вести поиск проявлений Новой физики в лептонном секторе.

Активное участие в проекте BELLE с самого его начала принимает группа сотрудников ИЯФ 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 2009 году продолжался набор статистики и обработка экспериментальной информации. Светимость коллайдера превысила проектное значение и достигла  $2,1 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , а интегральная светимость на конец года превысила 1000 обратных фемтобарн. На сегодняшний день КЕКВ является установкой с рекордной светимостью и позволяет выдавать новые физические результаты. Следующий шаг - это создание супер  $B$ -фабрики.

Физики из ИЯФ СО РАН принимают активное участие в работе на детекторе и в обработке экспериментальных данных. Группа ИЯФ участвует в анализе трех- и четырехчастичных распадов  $B$ -мезонов, процессов с рождением очарованных частиц, а также занимается  $\tau$ -физикой.

В 2009 году продолжалось исследование распадов  $\tau$ -лептона. Коллаборация BELLE изучила всевозможные распады, где в конечном состоянии имеется  $\eta$ -мезон. Интерес к ним обусловлен поиском распада  $\tau \rightarrow \eta \pi \nu_\tau$ , который сильно подавлен в Стандартной Модели. Упомянутые выше распады с  $\eta$ -мезоном являются сильным источником фона, так как их вероятности гораздо выше, чем для распада  $\tau \rightarrow \eta \pi \nu_\tau$ . Результаты работы, приведенные в Таблице 1, заметно превосходят по точности прежние измерения, выполненные на детекторах CLEO и ALEPH, и согласуются с ними в пределах экспериментальных неопределенностей. Это позволило значительно продвинуться в поиске распада  $\tau \rightarrow \eta \pi \nu_\tau$ .

Таблица 1. Сравнение результатов BELLE и CLEO.

Канал		$N_{ev}$	$B_{exp}$
$\pi^+ \pi^- \eta \nu_\tau$	BELLE, 2009	$5675 \pm 111$	$(1,35 \pm 0,03 \pm 0,08) \cdot 10^{-3}$
	CLEO, 1992	$125 \pm 16$	$(1,7 \pm 0,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$
$K^+ \eta \nu_\tau$	BELLE, 2009	$1545 \pm 51$	$(1,58 \pm 0,05 \pm 0,09) \cdot 10^{-4}$
	CLEO, 1992	$61 \pm 14$	$(2,6 \pm 0,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-4}$
$K^+ \pi^0 \eta \nu_\tau$	BELLE, 2009	$241 \pm 34$	$(4,6 \pm 1,1 \pm 0,4) \cdot 10^{-5}$
	CLEO, 1992	$47 \pm 12$	$(17,7 \pm 5,6 \pm 7,1) \cdot 10^{-5}$
$K_S^+ \pi^- \eta \nu_\tau$	BELLE, 2009	$45 \pm 8$	$(4,4 \pm 0,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$
	CLEO, 1992	$15,1 \pm 4,5$	$(11,0 \pm 3,5 \pm 1,1) \cdot 10^{-5}$

Кроме того, продолжались поиски Новой физики в секторе заряженных лептонов, а именно распадов с нарушением лептонного аромата. В 2009 году были опубликованы результаты первого поиска распадов  $\tau^- \rightarrow e^- f_0(980)$  и  $\tau^- \rightarrow \mu^- f_0(980)$  с реконструкцией  $f_0(980)$  по распаду в  $\pi^+ \pi^-$ . Хотя такие распады и не были обнаружены (см. рис. 1, на котором ясно видно, что в сигнальном эллипсе событий нет), полученные верхние пределы на вероятности таких распадов,  $3,2 \times 10^{-8}$  и  $3,4 \times 10^{-8}$  соответственно, уже близки к теоретическим предсказаниям и с их помощью можно наложить существенные ограничения на пространство параметров, допустимых в теоретических моделях.

Группой сотрудников ИЯФ были проведены исследования свойств частицы  $\eta_c$  и ее возбужденного состояния  $\eta_c(2S)$ . Эти частицы являются связанными состояниями  $c\bar{c}$  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. 2 показано распределение инвариантной массы  $K_S K \pi$  (пики соответствуют состояниям  $\eta_c, J/\psi, \chi_{c1}$  и  $\eta_c(2S)$ ), нижняя чистограмма - комбинаторный фон. Видно, что есть события, не являющиеся ни сигналом (пики), ни комбинаторным фоном - это так называемая нерезонансная амплитуда.

В данной работе впервые изучена интерференция между сигналом и нерезонансной амплитудой и сделана оценка влияния этой интерференции на результаты анализа. Результатами данного исследования являются произведения парциальных ширин распадов  $B$ -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.

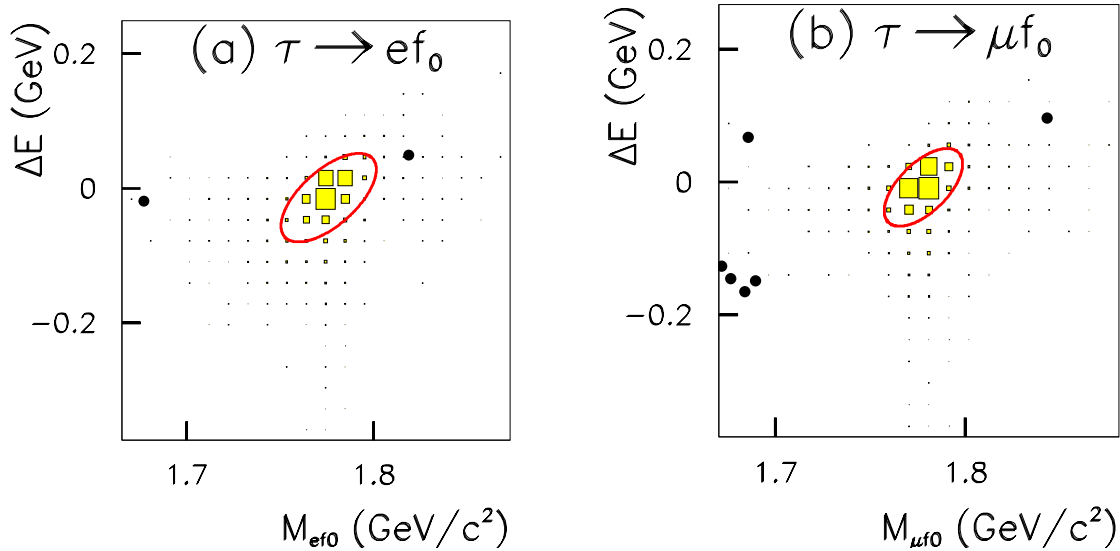


Рис. 1. Результаты поиска распадов  $\tau^- \rightarrow e^- f_0(980)$  и  $\tau^- \rightarrow \mu^- f_0(980)$ .

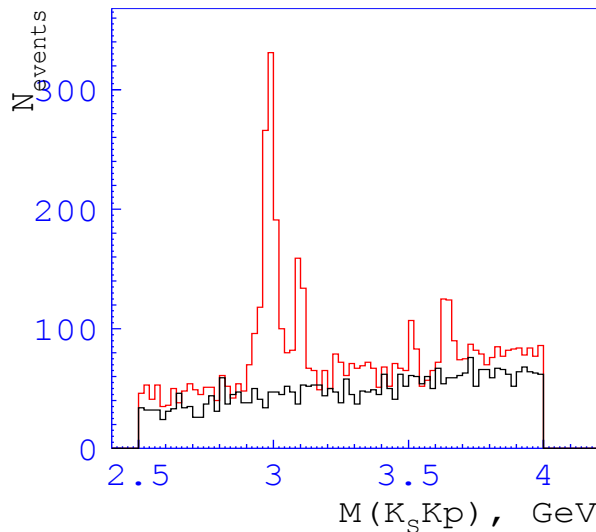


Рис. 2. Распределение инвариантной массы  $K_S K \pi$ .

В 2009 году продолжен анализ экспериментальных данных с целью измерения угла смешивания  $\phi_3$  с использованием новой доступной статистики эксперимента Belle ( $605 \text{ фб}^{-1}$ ). В анализе использованы три канала распадов:  $B^+ \rightarrow DK^+$ ,  $B^+ \rightarrow D^* K^+$  с  $D^* \rightarrow D\pi^0$  и  $D^* \rightarrow D\gamma$  и соответствующие им зарядово-сопряженные моды. Метод использует интерференцию между  $D^0$  и  $\bar{D}^0$  для определения угла  $\phi_3$ , сильной фазы  $\delta$  и отношения  $r$  подавленных и разрешенных амплитуд. В результате, полученный угол

$\phi_3 = 78,4^{+10,8}_{-11,6} \pm 3,6^\circ \pm 8,9^\circ$ , где  $3,6^\circ$  – систематическая, а  $8,9^\circ$  – модельная ошибки. Статистическая значимость CP нарушения ( $\phi_3 \neq 0$ ) в данном измерении составляет  $(1-5 \times 10^{-4})$

или 3,5 стандартных отклонения. Результаты работы готовятся к публикации.

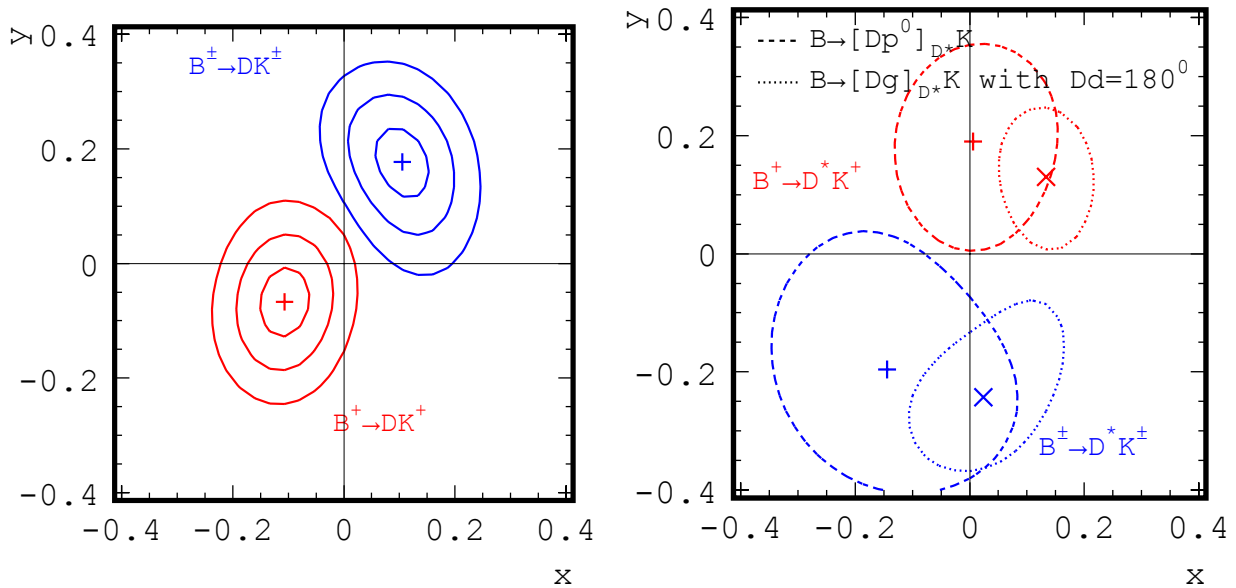


Рис. 3. Результаты подгонки сигнала со свободными параметрами  $x$  и  $y$ , характеризующими CP нарушение.

Недавнее открытие загадочного семейства состояний  $Y$  с квантовыми числами  $J^{PC}=1^{--}$  заставило обратить ученых пристальное внимание на многократно измеренное инклюзивное сечение  $e^+e^- \rightarrow$  адроны. До последнего времени параметры  $\psi$ -состояний определяли из этого сечения без учета их возможной интерференции, и лишь в 2008 г. впервые попытались учесть интерференцию десятка конечных состояний из распадов  $\psi$ -резонансов. Однако, поскольку для описания этих распадов физики опирались на предсказания теоретических моделей, полученный результат остался модельно-зависимым и поэтому не слишком надежным. Попытка включить в описание сечения  $Y$ -состояния приводит к возникновению множества свободных параметров и обречена на неудачу. Единственным выходом, дающим возможность надежно определить параметры  $\psi$ , изучить их распады, а также установить верхние пределы на вероятности распадов  $Y$  в  $D$ -мезонные конечные состояния, остается измерение сечений эксклюзивных процессов.

Следующим этапом работы  $B$ -фабрики планируется модернизация как детектора (BELLE II), так и коллайдера для увеличения светимости установки до  $8 \times 10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , что позволит измерить все углы треугольника унитарности с точностью несколько процентов и, возможно, позволит выйти за пределы Стандартной Модели.

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. Командой ИЯФ разработана и предложена схема модернизации калориметра. Для цилиндрической части калориметра предполагается замена электроники счетчиков на схему с непрерывной оцифровкой амплитуды 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, 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 2009 году в ИЯФ были разработаны схемы формирователей-оцифровщиков и концентраторов в стандарте VME. Эти модули были изготовлены в Корее, в КЕК были проведены настройки и ведутся первые испытания этих модулей (рис. 4).

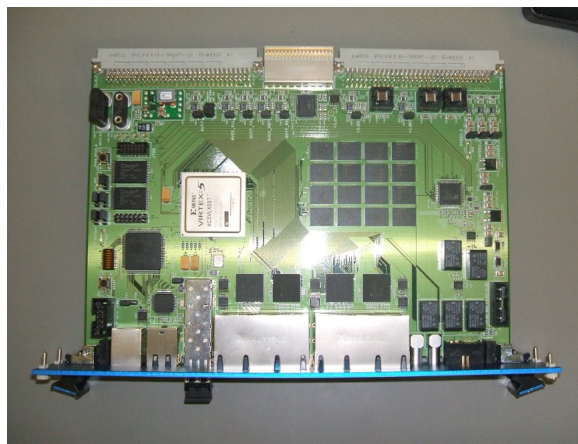


Рис. 4. Электронный модуль формирователя-оцифровщика в стандарте VME на 16 каналов и электронный модуль концентратора в стандарте VME.

Для формирователя-оцифровщика были проведены измерения шумов и линейности. Линейность получилась лучше чем  $3 \times 10^{-3}$  для динамического диапазона, соответствующего диапазону энергий 10 МэВ - 10 ГэВ (рис. 5).

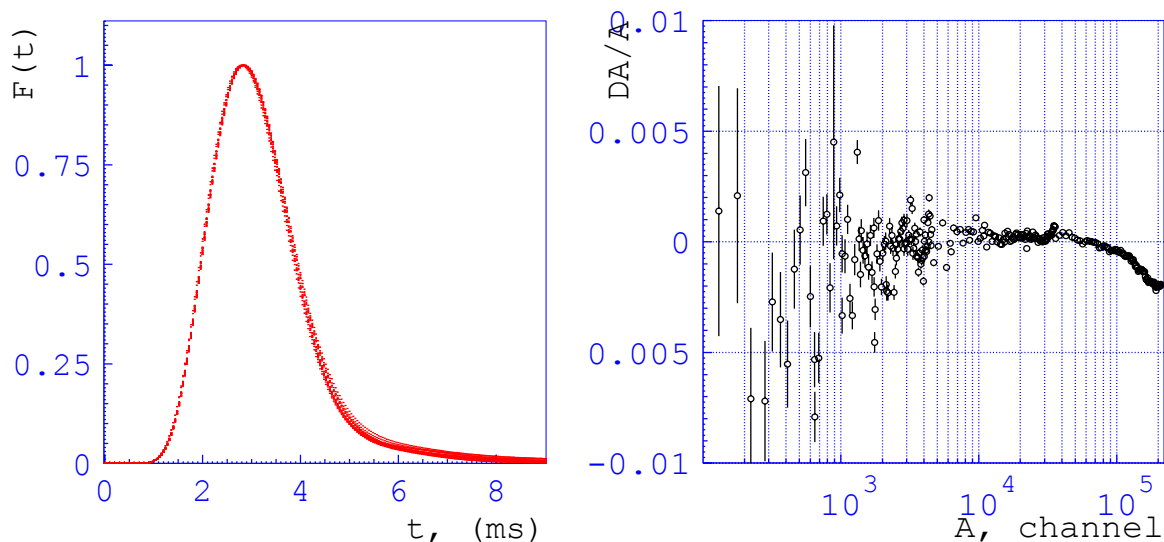


Рис. 5. Форма импульса с формирователя и отклонение от линейной зависимости модуля формирователя.

Для торцевого калориметра, где предполагается использовать кристаллы чистого CsI необходимо использование новых фотоприемников. В качестве таковых планируется использование фотопентодов – фотоумножителей с тремя диодами (рис. 6). Такие приборы могут работать в магнитном поле до 1,5 Т.

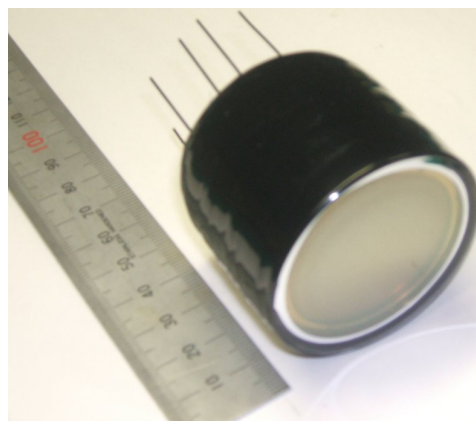
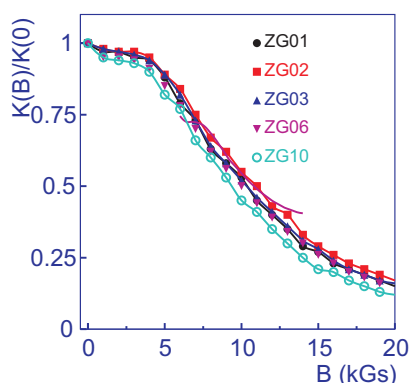


Рис. 6. Вакуумный пентод фирмы Хамаматацу.

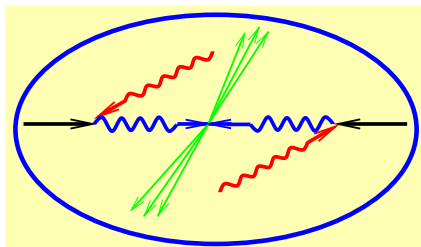
Для работы внутри большой установки очень важна долговременная работоспособность и стабильность характеристик приборов. Командой ИЯФ были проведены испытания зависимости чувствительности фотопентодов от полного заряда, собранного на анод. Для этого были созданы два стенда. Один стенд был собран в КЕК и позволял измерять чувствительность прибора без магнитного поля. На нем была проведена проверка фотопентодов для интеграла тока, соответствующего 20 годам работы детектора BELLE II.

Второй стенд был собран в ИЯФ. На этом стенде была возможность проведения измерений как без магнитного поля, так и с ним. На нем была проведена проверка фотопентодов в магнитном поле для интеграла тока, соответствующего 3 годам работы детектора BELLE II. Измерения показали удовлетворительную работу приборов в обоих случаях. Тенденции поведения чувствительности фотопентодов в магнитном поле совпадают с измерениями без магнитного поля.

Для работы в условиях с большими фоновыми нагрузками важными характеристиками являются время высвечивания сцинтиллятора и его послесвечение. Для изучения этих характеристик кристаллов CsI был разработан и собран стенд, позволяющий измерять времена высвечивания до 10 нс и компоненты послесвечения до 10 мс. На этом стенде проведены измерения кристаллов, произведенных различными поставщиками.

Для получения высокого энергетического разрешения важно иметь герметичный калориметр с минимальными зазорами между кристаллами. Поэтому необходимо обеспечить точные размеры счетчиков, и важным моментом является контроль размеров кристаллов, получаемых от изготовителя. Для контроля размеров счетчиков детектора BELLE была изготовлена установка. В 2009 году группой ИЯФ было переработано и улучшено программное обеспечение этой установки, что позволит использовать ее для измерения счетчиков BELLE II.

## 1.11 Фотонный коллайдер



С конца 2000 года ведется разработка объединенного Международного проекта линейного коллайдера ILC на энергию  $2E=0,5-1$  ТэВ, основанного на сверхпроводящей технологии. Кроме  $e^+e^-$  столкновений на ILC планируются встречные  $\gamma\gamma$  и  $\gamma e$  пучки основанные на лазерной конверсии электронов в высокоэнергичные фотоны («фотонный коллайдер» или PLC). В середине 2007 года был опубликован ILC Reference Design Report (RDR). В 2008 году были выбраны две концепции детекторов для дальнейшей разработки. Ввиду высокой цены ILC дальнейшие планы очень туманны. Отношение к линейному коллайдеру может измениться, если на LHC будет открыта новая физика.

Тем временем начались поиски путей удешевления линейного коллайдера. Одно из таких предложений – это создание вначале фотонного коллайдера, способного рождать одиночный лёгкий Хигсовский бозон с ожидаемой массой порядка 120 ГэВ, для чего нужны электронные пучки с энергией  $2E=160$  ГэВ. В случае же  $e^+e^- \rightarrow HZ$  требуется минимальная энергия  $2E=230$  ГэВ и дополнительная система получения позитронов. Нами была проведена первичная экспертиза данного предложения, доложенная на рабочем совещании ILC08/LCWS08. Детальная дискуссия состоялась на TILC09. Несмотря на то, что мы являемся наиболее заинтересованными лицами в создании фотонного коллайдера, тем не менее считаем, что первой очередью линейного коллайдера должны быть  $e^+e^-$  пучки с энергией 230 ГэВ. С финансовой точки зрения создание вначале фотонного коллайдера также вряд ли оправдано, так как  $e^+e^-$  пучки все равно будут делаться параллельно, и все это приведет только к удорожанию проекта. К тому же физическое сообщество никогда не согласится с дополнительной задержкой  $e^+e^-$  экспериментов на 5-6 лет.

Наше участие в разработке и продвижении проекта фотонного коллайдера в 2009 году отражено в списке статей и докладов на международных конференциях:

Фотонный коллайдер: обзор технологии.

Фотонный коллайдер как первая очередь ILC (введение к дискуссии).

Гамма-гамма: заключительный доклад.

Калибровка энергии на фотонном коллайдере.

Международный большой детектор (ILD), Letter of Intent.

В работе приняли участие : В.И. Тельнов

**2**

**Электро-  
и фотоядерная  
физика**



## 2.1 Эксперименты с внутренними мишенями.

I. В 2009 году главной задачей группы было завершение подготовки и, затем, проведение эксперимента по измерению отношения сечений упругого рассеяния электронов/позитронов на протоне ( $R = \sigma^+/\sigma^-$ ). Такой эксперимент интересен тем, что он позволит 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.

К настоящему времени уже опубликовано значительное количество теоретических работ, где демонстрируется важность учета ДФО при интерпретации данных экспериментов с неполяризационной методикой. Однако, для решения проблемы необходимы экспериментальные данные по вкладу двухфотонного обмена.

Летом мишень и детектор были установлены на накопителе ВЭПП-3. Затем были проведены работы по проверке и наладке аппаратуры. В это же время с накопителя ВЭПП-4 на ВЭПП-3 была перенесена установка ОКР (обратное Комптоновское рассеяние) для измерения энергии пучков электронов/позитронов ВЭПП-3.

Работа с пучком началась в сентябре с настройки различных режимов работы накопителя. Была отлажена работа мишени и детектора частиц во взаимодействии с пучками накопителя, проведены работы по снижению фонов. Набор статистики начался в конце сентября. Эффективность набора, определяемая как интеграл тока пучков электронов/позитронов при постоянной толщине мишени, равной примерно  $10^{15}$  атомов/см<sup>2</sup>, возрастала и достигла до уровня  $\sim 1$  кКулон/сутки (рис. 1).

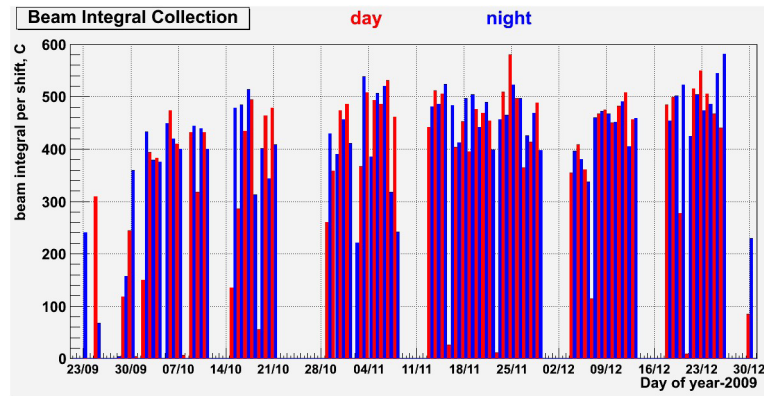


Рис. 1. Интегралы тока пучков ВЭПП-3 по сменам.

Для снижения систематических ошибок измерения  $R = \sigma^+/\sigma^-$  важно было поддерживать одинаковые условия при работе с электронным и позитронным пучками: энергии пучков  $e^+$  и  $e^-$  постоянно измерялись установкой ОКР и были близки друг к другу, положения пучков постоянно контролировалось станциями пикап-электродов и также были примерно одинаковы. Несколько раз в течение набора положение пучков было измерено с помощью механических пробников, анализ данных детектора также даст информацию о положении пучков во время набора данных.

С той же целью (снижение систематических ошибок) пучки электронов/позитронов регулярно чередовались (рис. 2).

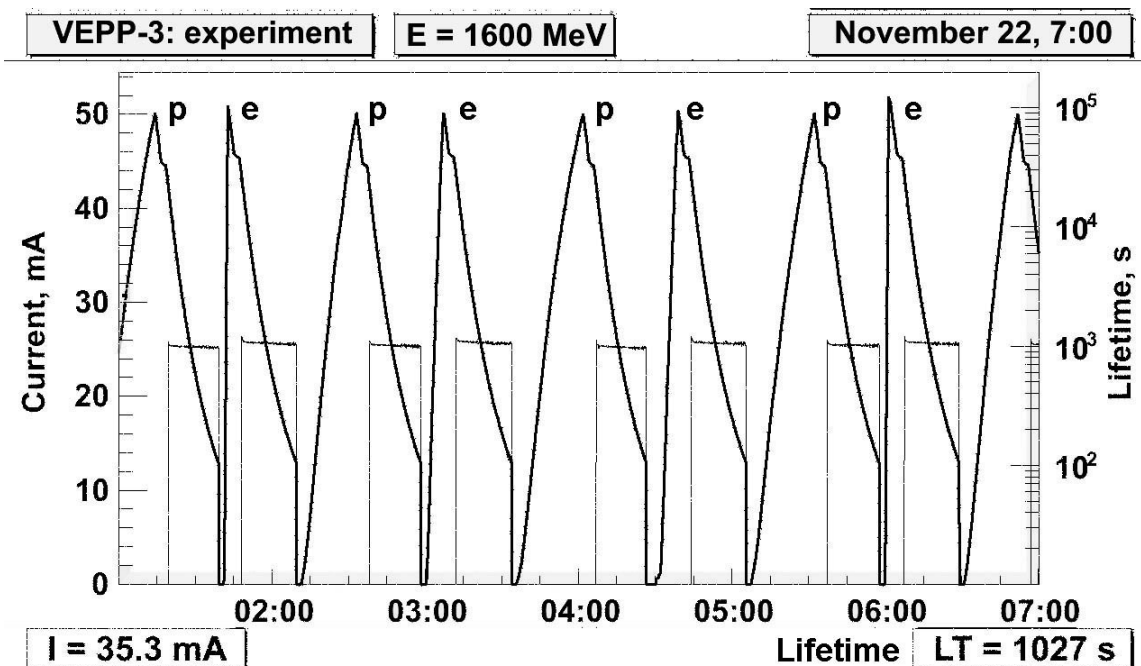


Рис. 2. График тока пучков  $e^+e^-$  ВЭПП-3.

Эксперимент продлился до конца года, набран запланированный интеграл тока пучков электронов/позитронов (рис. 3).

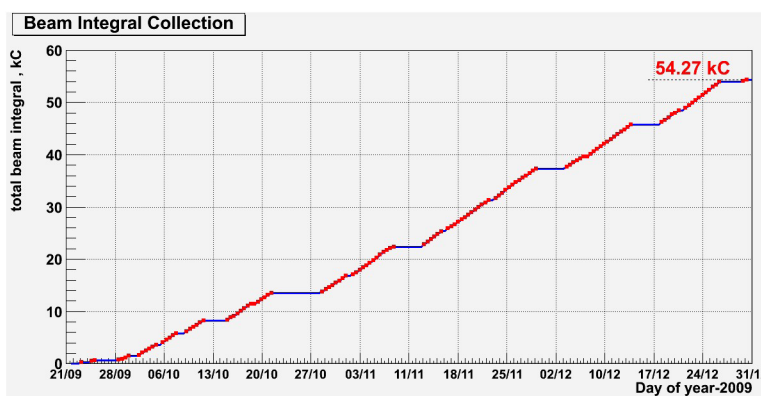


Рис. 3. Набор интеграла тока пучков ВЭПП-3 за время эксперимента.

Предварительный анализ данных показывает их достаточно высокое качество, результаты планируется получить в 2010 году.

II. Продолжались работы по созданию системы мечения квазиреальных фотонов (СМФ) на ВЭПП-3. Система мечения существенно расширит возможности для изучения фотореакций на ВЭПП-3. Предполагается, например, продолжить эксперимент по фоторасщеплению дейтрона при больших энергиях фотона. В этом процессе, по данным неполяризационных измерений, уже с энергии  $\sim 1$  ГэВ наблюдается переход к кварк-глюонному описанию реакции. Представляется важным найти подтверждение этому факту в поляризационных измерениях. Будут продолжены эксперименты по когерентному рождению мезонов. Проведены трехмерные расчеты магнитов. Кривые насыщения тройки магнитов СМФ (домноженные на соответствующие коэффициенты) близки друг к другу (рис. 4). Приведены интегралы полей магнитов вдоль траектории пучка электронов в зависимости от полного тока магнитов. Горизонтальными линиями показаны уровни интегралов при

энергии инъекции пучка и энергии эксперимента.

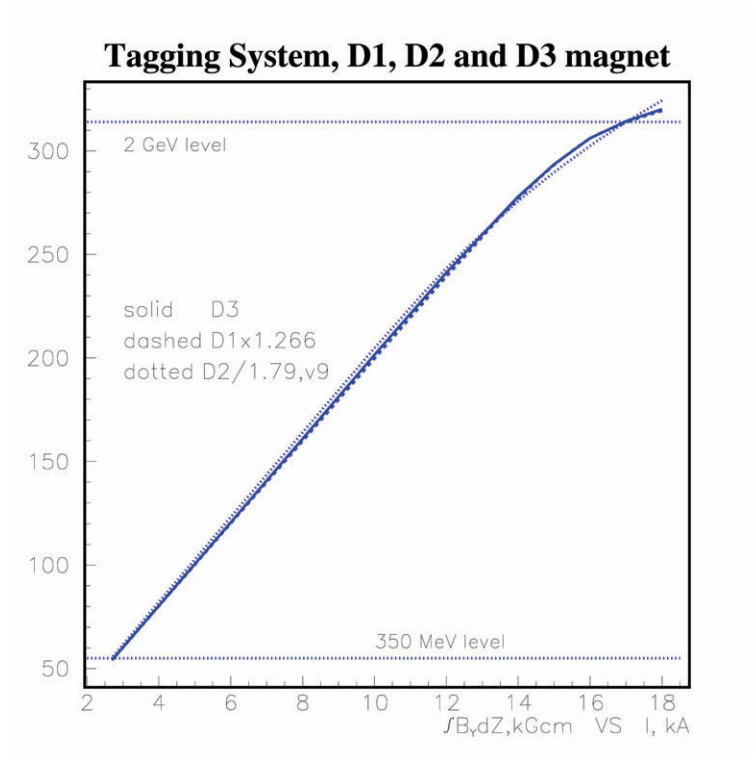


Рис. 4. Кривые насыщения магнитов D1, D2 и D3.

Близость кривых насыщения трех магнитов позволит запитать их от одного (имеющегося в наличии) сильноточного источника питания. Небольшие отличия полей от требуемых устраняются с помощью катушек коррекции. Конструкторские работы по этим магнитам завершены, начато их изготовление.

Вакуумная камера экспериментального промежутка разбита на три участка.

Изготовление центральной части, содержащей накопительную ячейку мишени, близко к завершению.

Закончены конструкторские работы по первому (по ходу пучка) участку вакуумной камеры, начато его изготовление. Конструкторские работы по последнему участку вакуумной камеры близки к завершению.

Для улучшения оперативной диагностики положения электронного пучка ВЭПП-3 в районе координатных детекторов СМФ будет установлена станция пикап-электродов; кроме того, положение пучка будет контролироваться по синхротронному излучению центрального магнита СМФ и по тормозному излучению из мишени. Измерение положения электронного пучка (а в случае надобности, коррекции/стабилизации положения пучка) в этом месте - в непосредственной близости от координатных детекторов, измеряющих координаты пролета электронов, вступивших в реакцию на мишени - значительно упростит и сделает более надежной процедуру нахождения энергии этих электронов. Начата конструкторская разработка этих устройств.

Найдены решения по устройству приемников синхротронного излучения магнитов СМФ (суммарная мощность излучения достигает 1 кВт). Начата их конструкторская разработка.

III. Были продолжены работы по улучшению параметров поляризованной мишени. Ранее был создан стенд, воспроизводящий условия работы мишени при проведении экспериментов, произведена его модернизация.



Изменена процедура нанесения покрытия на ячейку, предохраняющего атомы от деполяризации. За основу была взята методика, разработанная в лаборатории BATES. При проведении экспериментов, аналогичным нашим, там была получена высокая степень поляризации мишени.

Также было решено изготовить вакуумный стенд для фиксации (прогрева под вакуумом) покрытия накопительной ячейки. Стенд был разработан и изготовлен, и на нем была выполнена фиксация пробного покрытия. Толщина покрытия, измеренная с помощью эллипсометра, оказалась равной около 20 микрон. Была измерена доля рекомбинировавших атомов на стенках ячейки, она составила  $0,29 \pm 0,08$ .

Измерения степени поляризации атомного пучка требуют существенного уменьшения шумов в детекторе или применения другой схемы регистрации молекулярного и атомарного пучков, вытекающих из накопительной ячейки.

Спроектированные ранее изменения в схеме откачки источника поляризованных атомов (ИПА) находятся в стадии реализации. Они, с одной стороны, должны привести к увеличению интенсивности струи источника, с другой стороны, должно увеличиться время между остановками для регенерации ИПА.

Эксперименты с внутренними мишенями проводятся в сотрудничестве с группами из Томска, С.-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

#### Амплитуды КХД при высоких энергиях (Доказательство глюонной реджезации)

А.В.Резниченко, М.Г.Козлов

Frascati Physics Series Vol. XLVIII (2009), p. 1-6 Young Researchers Workshop:  
“Physics Challenges in the LHC Era”

Frascati, May 11 and 14, 2009, ISBN 978-88-86409-57-5

Мы демонстрируем, что амплитуды КХД с глюонным обменом при высоких энергиях в следующем за главным логарифмическом приближении (СГЛП) имеют мультиреджевскую форму. Доказательство базируется на бутстрапном подходе: соотношениях и условиях бутстрапа. Первые представляют собой бесконечную серию условий совместимости реджевской формы амплитуды с условием  $s$ -канальной унитарности. Мы показали, что чтобы удовлетворить бесконечное число данных соотношений бутстрапа, достаточно выполнения конечного числа условий бутстрапа. Явным петлевым вычислением было показано, что все эти условия справедливы для произвольного цветового представления  $t$ -канальных реджеонов. Это завершает доказательство гипотезы реджезации глюона в СГЛП.

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

В.Ф. Дмитриев, Дж.С. Беренгут, В.В. Фламбаум,  
arXiv:0907,2288

Мы вычисляем влияние изменения масс лёгких кварков,  $m_q$ , на процесс стандартного нуклеосинтеза во время Большого Взрыва. Изменение  $m_q$  в эру нуклеосинтеза меняет скорости ядерных реакций и, следовательно, первичные распространённости за счёт изменения энергий связи лёгких ядер. Было найдено, что относительное изменение  $\delta m_q/m_q = 0,016 \pm 0,005$  обеспечивает лучшее согласие между наблюдаемыми первичными распространённостями и теоретическими предсказаниями. Это происходит, в основном, за счёт устранения существующих разногласий для  ${}^7\text{Li}$ . Однако, этот подход не учитывает возможное изменение положения резонансов в ядерных реакциях. Предсказываемая первичная распространённость  ${}^7\text{Li}$  сильно зависит от сечения резонансных реакций  ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$  и  $t(d,n){}^4\text{He}$ . Мы показали, что изменения в  $m_q$  во время BBN могут сдвинуть положения этих резонансов за пределы Гамовского окна, что ведёт к увеличению количества  ${}^7\text{Li}$ , обостряя литиевую проблему.

#### Трёхпетлевые вершинные диаграммы в HQET для $B^0 - \bar{B}^0$ смешивания

А.Г. Грозин и Р.Н. Ли  
JHEP 02 (2009) 047 (13 стр.)

Рассмотрены трёхпетлевые вершинные диаграммы в HQET, необходимые для правил сумм для  $B^0 - \bar{B}^0$  смешивания. Они зависят от двух остаточных энергий. Построен алгоритм сведения этих диаграмм к мастер-интегралам. Все мастер-интегралы вычислены точно в  $d$  измерениях; получены также их разложения по  $\epsilon$ .

**Трёхпетлевые Фейнмановские интегралы  
на массовой поверхности с двумя массами**  
S.Bekavac, А.Г.Грозин, D.Seidel, В.А.Смирнов  
Nucl. Phys.B819 (2009) 183-200

Все трёхпетлевые Фейнмановские интегралы КХД на массовой поверхности с двумя массами могут быть сведены к 27 мастер-интегралам. Здесь мы вычисляем эти мастер-интегралы, разложенные по  $\epsilon$ , как точно по отношению масс, так и в виде рядов в предельных случаях.

**Влияние масс лёгких кварков на хромомагнитный момент**  
S.Bekavac, А.Г.Грозин, D.Seidel, M.Steinhauser  
arXiv:0906,0130 (4 стр.)

Мы представляем трёхпетлевые КХД поправки к хромомагнитному моменту кварка с учётом двух различных ненулевых масс. Это необходимо для получения соответствующих поправок к хромомагнитному коэффициенту в лагранжиане эффективной теории тяжёлого кварка.

**Введение в эффективные теории поля**  
**1. Эффективная теория Гайзенберга-Эйлера декаплинг тяжёлых флейворов**  
А.Г.Грозин  
arXiv:0908,4392 (47 стр.)

Это первая часть лекций об эффективных теориях поля. Рассмотрен декаплинг петель тяжёлых частиц (тяжёлые лептоны в КЭД, тяжёлые кварки в КХД).

**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  
arXiv:0911,3356 (23 стр.); послано в Nucl. Phys. B

Мы рассматриваем токи, построенные из тяжёлого и лёгкого кварков, в КХД 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  $B$ -мезонов.

**О различии ядер уравнений эволюции при малых  $x$**   
В.С.Фадин, Р.Фиоре, А.В.Грабовский  
Nucl.Phys.B 820, 334 (2009), [arXiv:0904,0702 [hep-ph]]. (38 с.)

Продемонстрировано, что в случае рассеяния вперед большая часть разности Мёбиусовского ядра БФКЛ и ядра БК в СГЛП может быть устранена преобразованием, связанным с изменением энергетического масштаба. Найдено изменение ядра под действием обобщения этого преобразования на случай рассеяния на произвольный угол. Обнаружено функциональное совпадение ядер БФКЛ в импульсном и Мёбиусовском координатном представлении для рассеяния вперед в главном порядке и показано, что оно выполняется в  $N=4$  суперсимметричной теории в СГЛП.

**Подход БФКЛ и дипольная картина**

В.С.Фадин

AIP Conference Proceedings, V. 1105, pp. 340-345

В случае рассеяния бесцветных объектов ядро БФКЛ может быть взято в специальном представлении, называемом Мебиусовской формой. В главном приближении ядро БФКЛ в Мебиусовской форме совпадает с ядром модели цветных диполей. В следующем за главным приближении кварковые части также находятся в согласии, но глюонные части отличаются. Анализируются возможные источники этого расхождения.

**Вклад скаляров в ядро уравнения БФКЛ**

Р.Е. Герасимов, В.С. Фадин

принято к печати в журнал «Ядерная физика»

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.

**Неоднозначности ядра BFKL в СГП**

В.С.Фадин, А.В.Грабовский

Proc. of XVII Int. Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Topics, Madrid, Spain, April 2009, <http://dx.doi.org/10.3360/dis,2009,19>

Обсуждаются неоднозначности ядер эволюции при малых  $x$  в следующем за главным приближении. Использование этих неоднозначностей может устранить различие между Мебиусовской формой ядра БФКЛ и ядром БК. Для рассеяния вперед это продемонстрировано в явном виде. Для этого случая показано также, что в главном порядке Мебиусовская форма ядра БФКЛ функционально тождественна ядру БФКЛ в импульсном представлении, и что в следующем порядке это тождество нарушается только бегучестью константы связи.

**Эксклюзивные  $\gamma^*$   $\gamma$ - процессы**

В.Л. Черняк

arXiv: 0912.0623 [hep-ph], стр. 1-12

Приглашенный доклад на международной конференции:

«От  $\phi$  до  $\psi$ », 13-16 октября 2009, Пекин, Китай.

а) Дан обзор современного состояния теоретических вычислений в КХД (квантовой хромодинамике) сечений рассеяния на большие углы процессов  $\gamma\gamma \rightarrow \bar{M} M$ ,  $M = \pi^+, \pi^0, K^+, K^0, \eta$ . Проведено сравнение с предсказаниями «handbag»- модели и с последними экспериментальными данными для этих сечений.

б) Дан обзор современного состояния теоретических вычислений в КХД формфакторов  $\gamma^*\gamma \rightarrow P$ ,  $P = \pi^0, \eta, \eta'$ . Проведено сравнение предсказаний различных моделей для волновой функции пиона ведущего твиста  $\phi_\pi(x, \mu)$  с последними экспериментальными результатами по измерению этих формфакторов.

**Согласование ядер эволюции при малых  $x$**

В.С.Фадин, Р.Фиоре, А.В.Грабовский

arXiv:0911,5617 [hep-ph], принята к печати в Nucl. Phys. B. (17c.)

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

**Трехпетлевая проверка метода  $\alpha$ -максимизации**

В.Л. Черняк

arXiv: 0912,3379 [hep-th], стр. 1-4 (представлено в Phys. Lett. B)

Метод  $\alpha$ -максимизации был предложен авторами К. Intriligator и В. Wecht для нахождения аномальных размерностей киральных суперполей в инфракрасных конформных фиксированных точках ренорм-групповой эволюции. Используя известные вычисления аномальных размерностей в теории возмущений для суперсимметричной квантовой хромодинамики, произведена проверка метода на трехпетлевом уровне.

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

Р.Н. Ли

Nucl. Phys. B, (2009) в печати.

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

## 3.2 Ядерная физика и несохранение чётности

**Кулоновский вклад в энергию возбуждения в  $^{229}\text{Th}$  и усиление эффекта изменения  $\alpha$ .**

В.Ф. Дмитриев, В.В. Фламбаум, Н. Ауэрбах,

Europhys.Lett. т,85, стр,50005, 2009

Мы вычисляем вклад кулоновской энергии в расстояние между основным и первым возбуждённым состояниями ядра  $^{229}\text{Th}$ , как функцию параметра деформации  $\delta$ . Показано, что несмотря на то, что нечётной частицей является нейтрон, изменение кулоновской энергии между этими двумя состояниями может достигать несколько сотен кэВ. Это значит, что эффект изменения постоянной тонкой структуры  $\alpha=e^2/\hbar c$  может быть усилен в  $\Delta U_c/E \sim 10^4$  раз в переходе «ядерных часов» с  $E = 7,6$  эВ между основным и первым возбуждённым состояниями в ядре  $^{229}\text{Th}$ .

**Спектр  $\alpha$ -частиц в реакции  $p+^{11}B \rightarrow \alpha + {}^8Be^* \rightarrow 3\alpha$** 

В.Ф. Дмитриев

Ядерная Физика, 2009, т. 72, с. 1165–1167

Используя простую феноменологическую параметризацию амплитуды мы вычисляем спектр  $\alpha$ -частиц в реакции  $p+^{11}B \rightarrow \alpha + {}^8Be^* \rightarrow 3\alpha$  при резонансной энергии протона 675 кэВ. Параметризация включает Брейт-Вигнеровский фактор с зависящей от энергии шириной для промежуточного состояния  ${}^8Be^*$  и кулоновским и центробежным факторами в вершинах испускания  $\alpha$ -частиц. Спектр состоит из хорошо определённого пика, отвечающего испусканию первичной  $\alpha$ -частицы, и плоского плеча, тянущегося до очень низких энергий. Мы нашли, что энергию ниже 1 МэВ имеют 11%  $\alpha$ -частиц, а ниже 1,5 МэВ - 17,5%  $\alpha$ -частиц.

### 3.3 Квантовая электродинамика

**Ограничения на электрические дипольные моменты  $\tau$ -лептона и  $W$ -бозона**

А.Г. Грозин, И.Б. Хриплович, А.С. Руденко

Nucl. Phys. B, 2009, v. 821, p. 285-290

Обсуждаются ограничения на электрические дипольные моменты (ЭДМ)  $\tau$ -лептона, тяжелых кварков и  $W$ -бозона, которые следуют из прецизионных измерений ЭДМ электрона и нейтрона.

**Электрические дипольные моменты от  $e$  до  $\tau$** 

А.Г. Грозин, И.Б. Хриплович, А.С. Руденко

ЯФ, 2009, т. 72, с. 1203-1205

Получены ограничения на электрический дипольный момент (ЭДМ)  $\tau$ -лептона, которые следуют из прецизионных измерений ЭДМ электрона.

**Ограничения из  $e^+e^-$  аннигиляции на электрические и слабые дипольные моменты тау-лептона и тяжёлых кварков**

А.Е. Блинов, А.С. Руденко

Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 189: 257-259, 2009

Получены ограничения на электрические и слабые дипольные моменты  $\tau$ -лептона,  $c$ - и  $b$ -кварков из полных сечений  $e^+e^-$  аннигиляции при  $2E \cong 200$  ГэВ.

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

В.М. Страховенко

arXiv: 0912.5429 v1 (physics. acc-ph), 2009

Рассматривается внутреннее рассеяние электронов в пучке, движущемся в накопителе. В сечении рассеяния впервые учтены кулоновские эффекты. Это позволило правильно описывать зависящий от поляризации вклад в скорость выхода частиц из поляризованного



пучка при любых значениях параметра  $\delta\epsilon/\epsilon$ , характеризующего относительное изменение энергии электрона в лабораторной системе при рассеянии.

**Поляризация частиц в электромагнитных ливнях, развивающихся в веществе**

В. Страховенко

<http://indico.cern.ch/event/53079> , Лион, Франция, июнь 23-26, 2009

Дается теоретическое описание развития электромагнитных ливней в аморфном веществе с учетом поляризаций всех участвующих частиц. Рассмотрены случаи инициации ливня продольно поляризованным электроном или циркулярно поляризованным фотоном. Полученные результаты необходимы для разработки источников поляризованных позитронов.

**Порядок  $(Z\alpha)^4$  поляризационного оператора в кулоновском поле при низких энергиях**

Г.Г. Кирилин и Р.Н. Ли

Nucl. Phys. B, 807 (2009) 73

Получено низкоэнергетическое разложение членов порядка  $(Z\alpha)^2$  и  $(Z\alpha)^4$  в поляризационном операторе в кулоновском поле. Рассмотрены физические приложения, такие как низкоэнергетическое дельбрюковское рассеяние и вклад магнитной петли в  $g$ -фактор связанного электрона.

**Электронная экранировка ядерного магнитного момента в водородоподобном атоме**

В.Г. Иванов, С.Г. Каршенбойм, Р.Н. Ли

Phys. Rev. A, 79 (2009) 012512

Вычислена экранировка ядерного магнитного момента электроном в  $nS_{1/2}$  состоянии в водородоподобном ионе с произвольным  $Z$ . Вычисление основано на разложении экранирующей поправки на два вклада, соответствующих промежуточным состояниям с  $j = 1/2$  и  $j = 3/2$ . Первый вклад вычислен с использованием проекции на  $j = 1/2$  поправки к волновой функции за счет внешнего магнитного поля, а второй – с использованием проекции  $j = 3/2$  поправки к волновой функции за счет сверхтонкого взаимодействия между электроном и ядром.

**Контроль барьера при туннельном рождении электрон-позитронных пар**

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

Phys. Rev. Lett. 103, 170403 (2009)

Рождение электрон-позитронных пар в туннельном режиме изучается в системе, когда сильная низкочастотная волна и слабая высокочастотная волна, движущиеся параллельно, сталкиваются с релятивистскими ядрами. Рассматривается случай, когда частота слабой волны в системе покоя ядер меньше, но близка к порогу рождения пары в кулоновском поле (две массы электрона). Показано, что влияние сильной низкочастотной волны на процесс туннельного рождения делает процесс наблюдаемым при ныне существующих параметрах мощных лазеров.

**Сильное подавление кулоновских поправок к сечению рождения  $e^+e^-$  пар  
в столкновениях ультрарелятивистских ядер**

Р.Н.Ли, А.И.Мильштейн  
ЖЭТФ, Т. 136, С. 1121-1126 (2009)

Эксперименты, проводимые в ЦЕРН на ускорителе SPS, по рождению электрон-позитронных пар, при столкновении релятивистских ядер, вызвали широкую дискуссию научного сообщества из-за неожиданного результата: совпадения экспериментального сечения с результатом вычислений, выполненных в низшем порядке теории возмущений, то есть без учета кулоновских поправок. Кулоновские поправки, вычисленные в главном логарифмическом приближении по параметру  $L = \ln(\gamma_A \gamma_B)$  ( $\gamma_{A,B}$  - Лоренц-факторы сталкивающихся ядер), не являются малыми и должны были бы наблюдаться в эксперименте. Для объяснения этого эффекта было проведено вычисление кулоновских поправок в следующем приближении по параметру  $L$ . Было обнаружено значительное подавление кулоновских поправок за счет вклада в сечение рождения электрон-позитронных пар событий, в которых пары рождаются с энергией нескольких электронных масс в системе покоя одного из ядер. Полученные результаты дают естественное объяснение измерениям, проведенным в ЦЕРН.

**Электророждение электрон-позитронной пары  
в ориентированном кристалле при высокой энергии**

В.Н.Байер, В.М.Катков  
Physics Letters A373 (2009) 1874-1879.

Исследован процесс рождения электрон-позитронной пары электроном высокой энергии в ориентированном кристалле. Рассмотрены два типа процессов: прямой (одноступенчатый) процесс через виртуальный промежуточный фотон и каскадный (двухступенчатый) процесс, когда электрон испускает реальный фотон, распространяющийся в поле оси, и затем фотон конвертирует в пару. Найден спектр образовавшихся позитронов (электронов). Показано, что вероятность процесса в кристалле значительно усилена по сравнению с соответствующим аморфным веществом.

**Современное развитие квазиклассического операторного метода**

В.Н.Байер, В.М.Катков  
Journal of Physics: Conference Series 198 (2009) 012003

Дано описание базиса операторного квазиклассического метода. Обсуждено приложение метода к решению ряда физических задач. Это процессы в суперпозиции постоянного поля и поля плоской волны, излучение электронов в линейных коллайдерах, излучение электронов в неоднородном поле, новый подход к рассмотрению процесса рождения пары фотоном в магнитном поле, теория излучения и рождения пар в ориентированном кристалле, спектр с учетом потери энергии излучающим электроном.

**Рождение пары фотоном в электрическом поле**

В.Н.Байер, В.М.Катков  
Препринт ИЯФ 2009-38

Процесс рождения пары фотоном в постоянном и однородном электрическом поле исследован с использованием поляризационного оператора в этом поле. Найденная полная

вероятность процесса имеет относительно простой вид. В области высоких энергий применимо квазиклассическое приближение. Вычислены поправки к стандартному квазиклассическому приближению (СКП). В области относительно малых энергий, где СКП неприменимо, было использовано новое приближение. Показано, что в этом интервале энергии вероятность рождения пары фотоном в электрическом поле существенно превышает вероятность рождения пары фотоном в магнитном поле. Указанное приближение применимо при энергии фотона, существенно большей чем «вакуумная» энергия в электрическом поле:  $\omega \gg eE/m$ . При меньших энергиях фотона разработано низкоэнергетическое приближение. При  $\omega \ll eE/m$  найденная вероятность описывает поглощение мягкого фотона частицами рожденной в электрическом поле пары.

## 3.4 Гравитация

### **Интегрирование по связностям в дискретизованных гравитационных функциональных интегралах**

В.М.Хацимовский

E-print archive arXiv:0912,1109.

Рассматривается интегрирование по связностям в функциональном интеграле для дискретизованной эйнштейновской гравитации, реализуемой как угловые дефекты в (лоренцевом) симплициальном (кусочно-плоском) многообразии, в формулировке с независимыми тензорами площадок и связностями (называемой формализмом первого порядка). Интегрирование по связностям сводится к интегрированию по независимым кривизнам данного (кусочно-плоском) многообразия. Доказывается, что результат - распределение вероятностей как функция тензоров площадок - экспоненциально убывает при больших площадях. Это важно для непротиворечивости симплициального подхода в описании эйнштейновской гравитации. Распределение вероятностей имеет максимумы, соответствующие спектру оператора площадки в пределе непрерывного времени, когда размеры симплексов (тетраэдров) в определенном направлении стремятся к нулю.

### **Версия представления действия Редже в терминах связностей**

В.М.Хацимовский

E-print archive arXiv:0912,1111.

Вводится в рассмотрение простейшее сильно искривленное кусочно-плоское многообразие, состоящее из двух копий одного и того же 4-симплекса (4-мерного тетраэдра) со взаимно отождествленными вершинами (назовем его би-симплекс). Рассматривается произвольный симплициальный комплекс (кусочно-плоское многообразие). Действие Эйнштейна для него выражается через сумму действий для би-симплексов, построенных для отдельных 4-симплексов. Вводим формализм первого порядка (тензоры площадок - связности) для общего симплициального комплекса как для системы независимых 4-симплексов, когда формализм первого порядка применяется к 4-симплексам (точнее, к построенным на их основе би-симплексам) независимо. Данный формализм изучен. В частности, функциональное интегрирование по связностям разбивается на обычные интегрирования конечной фиксированной кратности. Доказывается, что результат как функция тензоров площадок экспоненциально убывает при больших площадях. Это важно для самосогласованности рассматриваемого дискретного описания гравитации на квантовом уровне.

**Захват темной материи Солнечной системой**

И.Б. Хриплович, Д.Л. Шепелянский

International Journal of Modern Physics D Vol. 18, No. 12 (2009) 1-10

Исследован захват темной материи Солнечной системой. Эффект обусловлен гравитационным трехчастичным взаимодействием Солнца, одной из планет и частицы темной материи. Найдена полная масса захваченных частиц темной материи. Оценки для плотности этих частиц гораздо менее надежны. Самые оптимистические из них приводят к усилению плотности темной материи на три порядка величины по сравнению с ее значением для нашей Галактики. Однако даже это оптимистическое значение остается на два порядка величины ниже современного наблюдательного верхнего предела.

**Замечание к работе****«Ровибрационные квантовые интерферометры и гравитационные волны»**

И.Б. Хриплович, С.К. Ламоро, А.О. Сушков, О.П. Сушков

Phys. Rev. A, в печати

В своей недавней работе Вихт, Лэммерцаль, Лорек и Диттус (Phys. Rev. A 78, 013610 (2008)), приходят к выводу, что молекулярный колебательно-вращательный квантовый интерферометр может обладать чувствительностью, необходимой для обнаружения гравитационных волн. Мы не согласны с их результатами и показываем, что истинная чувствительность такого интерферометра на много порядков величины хуже, чем указанная в упомянутой работе.

**3.5 Нелинейная динамика и хаос****Квантовый хаос: степень обратимости квантовой динамики хаотических в классическом пределе систем****"Topics on Chaotic Systems: Selected Papers from CHAOS2008 International Conference"**

В.В. Соколов, О.В. Жиров, Д. Казати, Д. Бененти

Ханья, о. Крит, Греция, 3-6 июня 2008, World Scientific, стр. 314-322, (2009)

Проведен количественный анализ обратимости движения квантовых систем, хаотических в классическом пределе. Установлена связь степени обратимости движения со скоростью, с которой состояние движения приобретает в процессе эволюции все более и более сложную структуру. Сложность состояния можно характеризовать числом  $M(t)$  Фурье-гармоник (первоначально изотропной, то есть  $M(0) = 0$ ) функции Вигнера, которое развивается к некоторому произвольно выбранному моменту времени  $t$ . Мы показали, что в разительном отличии от классического экспоненциального роста с течением времени в квантовом случае это число может возрастать после времени Эренфеста  $t_E$  не быстрее, чем линейно. Отсюда следует, что в случае, если движение обращено вспять немедленно после некоторого момента  $T$ , в который система подверглась мгновенному возмущению интенсивности  $\xi$ , существует некоторое критическое значение  $\xi_c(T) \approx \sqrt{2/M(T)}$  силы этого возмущения, ниже которого начальное состояние хорошо восстанавливается в процессе

обращенного движения. В то же время, обратимость исчезает, если сила возмущения превышает этот порог,  $\xi \gtrsim \xi_c(T)$ . В классическом пределе число гармоник функции распределения возрастает экспоненциально, так что такое движение становится практически необратимым. Указанные результаты иллюстрируются на примере возбуждаемого короткими периодическими толчками осциллятора с нелинейностью четвертой степени.

### **Квантовая динамика в присутствии стационарного шума**

В.В. Соколов, О.В. Жиров  
e-print: arXiv:0909.4179 [quant-ph] (2009);  
Europhys. Lett. 88 (2009) 60002.

На примере возбуждаемого периодическими короткими толчками осциллятора с нелинейностью четвертой степени мы исследовали динамику хаотических в классическом пределе квантовых систем с малым числом степеней свободы в случае, когда они подвергаются воздействию стационарного внешнего шума. Детально проанализированы стабильность и обратимость такого движения в зависимости от уровня шума  $\sigma$ . Выяснено, как зависит от времени движения критическое значение  $\sigma_c(t)$  этого уровня, ниже которого отклик системы на шум остается слабым. Показано, что при условиях, когда время Эренфеста  $t_E$  является столь коротким, что ляпуновский режим экспоненциального падения фиделити Переса не успевает проявиться, временная зависимость критического уровня шума оказывается степенной. Мы оценили также время потери квантовой когерентности, после которого динамика представляет из себя марковский процесс.

### **Баллистический квантовый электронный транспорт в присутствии неупорядоченного фона**

В.В. Соколов  
e-print: arXiv:0912.0382 [cond-mat.mes-hall] 2 Dec 2009.

Исследуется влияние сложного много-частичного окружения на хаотический электронный транспорт сквозь двумерное мезоскопическое устройство в предположении о баллистическом характере движения. Температура окружения предполагается нулевой, в то время как энергия  $E$  рассеиваемых полостью электронов может быть как очень близка к энергии Ферми в окружении, так и несколько выше последней. Эффекты подавления квантовой когерентности и диссипации энергии электронов в окружающей среде анализируются в рамках единой схематической микроскопической модели. Входные резонансные состояния электрона, возбуждаемые в полости через внешние каналы, демпфированы не только из-за ухода сквозь такие каналы, но также и за счет заселения долгоживущих одночастичных состояний в среде. Сечение прохождения сквозь полость электрона некоторой энергии  $E$  оказывается некогерентной суммой потоков, один из которых образуется за счет распада демпфированных входных резонансов, в то время как другой обусловлен запаздывающим переизлучением в полость электронов, первоначально поглощенных средой. Из-за многочастичных эффектов в среде часть возвращающихся электронов теряет некоторое количество своей первоначальной энергии, покидая из-за этого резонансный интервал. Это имитирует абсорбцию и нарушение симметрии по отношению обращению к времени, что проявляется, в частности, в подавлении эффекта слабой локализации. Все указанные эффекты контролируются единственным параметром - спрэдовой шириной, которая единственным образом определяет время потери когерентности.

**Квантовая синхронизация и запутанность состояний двух кубитов,  
взаимодействующих с диссипативным резонатором с внешней подкачкой**  
О.В. Жиров, Д.Л. Шепелянский  
e-print:arXiv:0904.0289v1[cond-mat.supr-con](2009);Phys.Rev.B,80,014519(2009).

Используя метод квантовых траекторий, мы исследовали поведение двух - как идентичных, так и различных сверхпроводящих кубитов, взаимодействующих с квантовым диссипативным резонатором с внешней периодической подкачкой. В случае, когда параметр взаимодействия превышает критическое значение, вращение кубитов синхронизируется с фазой поля подкачки, а квантовое состояние в процессе их эволюции становится запутанным - даже если свойства кубитов в паре заметно отличаются. Такие запутанные кубиты могут служить, в частности, источником запутанных фотонов, что открывает новые возможности для беспроводной передачи информации в микроволновом диапазоне.

**Матрица Гугля, динамические аттракторы и сети Улама**  
Д.Л. Шепелянский, О.В. Жиров  
e-print: arXiv:0905.4162v2 [cs.IR] (2009)

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.

**Поправка к формуле Мольера для многократного рассеяния**  
Р.Н.Ли, А.И.Мильштейн  
ЖЭТФ, Т. 135 ,С. 1125-1128 (2009)

Процесс многократного рассеяния в веществе частиц высоких энергий играет большую роль в экспериментальной физике. Этот процесс изучался в многочисленных теоретических и экспериментальных работах. Теоретические результаты, полученные в рамках теории Мольер и её разных модификаций, учитывали плотность мишени в главном приближении. Можно было бы ожидать, что при больших плотностях мишени и не слишком большой энергии частиц теория Мольер не должна работать. Однако эксперименты показывают, что это не так. Для разрешения этой загадки в работе была вычислена первая по плотности поправка к сечению многократного рассеяния. Оказалось, что эта поправка мала даже для высокой плотности мишени. Полученные результаты объясняют широкую область применимости теории Мольер многократного рассеяния.

**Исследование индуцированного тока и эффекта  
Ааронова-Бома в графене**

Р. Джакив, А.И. Мильштейн, С. Пи, И.С.Терехов.  
Phys. Rev. B 80, 033413 (2009)

Новые возможности теоретического и экспериментального изучения топологических эффектов квантовой электродинамики в сильных полях появились после успешного создания моноплоскостей атомов углерода (графен). Одним из таких эффектов является знаменитый эффект Ааронова-Бома. Этот эффект приводит к тому, что в поле очень тонкого соленоида на расстояниях много больше радиуса соленоида возникает ненулевой ток, хотя, как известно, магнитное поле вне соленоида равно нулю. Этот чисто квантовый эффект изучается в работе точно по магнитному полю соленоида. Показано, что индуцированный ток является периодической функцией магнитного потока и зануляется, когда магнитный поток равен целому или полуцелому значению кванта магнитного потока. Полученные результаты являются важными для планирования будущих экспериментов в графенах

**4**

**Физика плазмы  
и  
управляемый  
термоядерный синтез**





## 4.1 Вихревое удержание ионно-горячей плазмы с $\beta=60\%$ в аксиально-симметричной магнитной ловушке

### Аннотация

Для подавления поперечных потерь плазмы при развитии МГД неустойчивости в аксиально-симметричном пробкотроне реализован метод вихревого удержания, который заключается в создании зоны дифференциального вращения вблизи радиальной границы плазменного столба. Эксперименты проводились на установке «газодинамическая ловушка», где горячие ионы со средней энергией  $E_h \approx 10$  кэВ, плотностью  $n_h \approx 5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$  и анизотропной в пространстве скоростей функцией распределения образуются за счет наклонной инжекции пучков атомарного водорода или дейтерия в столкновительную теплую плазму с температурой электронов до 230 эВ и плотностью  $n_w \approx 2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ . Продемонстрировано стационарное удержание плазмы с  $\beta=60\%$  в режимах с несущественным уровнем поперечных потерь по сравнению с продольными. Показано, что продольные потери частиц и энергии хорошо соответствуют модели газодинамического истечения столкновительной плазмы через магнитные пробки.

### 4.1.1 Введение

Основной частью установки «газодинамическая ловушка» (ГДЛ) [Мирнов В.В., Рютов Д.Д., Письма в ЖТФ, 1979, т.5, с.678; P.A.Bagryansky, A.A.Ivanov, E.P.Kruglyakov, et. al., Fusion Engineering and Design 70(2004) 13-33] 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 удерживается в газодинамическом режиме. Другая компонента представляет собой горячие ионы, которые образуются в результате наклонной инжекции пучков атомарного водорода или дейтерия в плазму. Энергия инжектируемых атомов лежит в диапазоне 22 - 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  $E_h \approx 10$  кэВ, а их плотность вблизи области останова достигает  $n_h \approx 5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ . Температура электронов при этом достигает  $T_e = 230$  эВ.

В 2009 году установка ГДЛ была существенно модернизирована: увеличена мощность системы атомарной инжекции, увеличено магнитное поле, усовершенствован диагностический комплекс. Основные инженерные параметры установки и параметры плазмы в описываемых экспериментах приведены в таблице 1.

Программа экспериментов на установке ГДЛ ориентирована, с одной стороны, на получение фундаментальных знаний по физике удержания плазмы с субтермоядерными параметрами в магнитных ловушках открытого типа, а с другой стороны - на экспериментальное обоснование проекта мощного источника нейтронов для материаловедческих исследований, управления подкритическими ядерными реакторами и других приложений [K. Noack, A. Rogov, A.V. Anikeev, et. al., Annals of Nuclear Energy 35 (2008) 1216–1222].

Таблица 1. Основные параметры установки ГДЛ.

Параметр	Значение
Расстояние между пробками	7 м
Магнитное поле в центральной плоскости	до 0,35 Т
Пробочное отношение	33
Суммарная мощность атомарных пучков	до 5 МВт
Мощность атомарных пучков, захваченная в плазму	1,8 МВт
Длительность работы атомарных инжекторов	5 мс
Угол наклона атомарных пучков по отношению к оси установки	45°
Плотность теплых ионов в центральной плоскости	$2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$
Плотность горячих ионов в областях останова	до $5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$
Температура электронов	до 230 эВ
Радиус плазмы	14 см

В общем случае осесимметричная магнитная ловушка не обладает конфигурацией, благоприятной для обеспечения МГД устойчивого удержания плазмы [Rosenbluth M.N., Longmire G., Ann. Phys., 1957, v.1, p.120]. В настоящей работе представлены результаты экспериментов, в которых для подавления поперечных потерь, связанных с развитием неустойчивых МГД мод в аксиально-симметричном пробкотроне без использования дополнительных стабилизирующих магнитных ячеек, был применен метод вихревого удержания, который заключается в создании зоны дифференциального вращения вблизи радиальной границы плазменного столба [A.D.Beklemishev, Shear Flow Effects in Open Traps, Theory of Fusion Plasmas, AIP Conference Proceedings 1069 (2008) pp.3-14.]. Продемонстрировано устойчивое удержание плазмы с  $\beta=60\%$  в стационарном режиме. При этом продольные потери частиц и энергии хорошо соответствуют модели газодинамического истечения столкновительной плазмы через магнитные пробки, а роль поперечных потерь незначительна. Полученные результаты в совокупности с рядом предыдущих являются обоснованием реализуемости проекта источника нейтронов на основе ГДЛ с точки зрения ключевых вопросов физики удержания плазмы в магнитных ловушках открытого типа.

#### 4.1.2 Описание эксперимента

Типичная временная последовательность работы систем установки ГДЛ была следующей:

- Создавалось магнитное поле.
- Производилось заполнение ловушки предварительной плазмой с температурой около 10 эВ при помощи плазменного источника, расположенного за пробкой с одной из сторон установки. Выходная апертура источника находится в плоскости, где величина магнитного поля в 100 раз меньше величины магнитного поля в пробках. Время работы генератора плазмы составляло 4 мс.
- После выключения генератора плазмы начиналась инжекция атомарных пучков из 8 модулей атомарных инжекторов, которая продолжалась в течение 5 мс.
- Одновременно с началом инжекции пучков включалась система инжекции газообразного водорода или дейтерия, которая производилась в периферийную область плазмы равномерно по азимуту при помощи двух импульсных клапанов, расположенных в областях, близких к магнитным пробкам, где плазма имеет относительно малый диаметр и прозрачна для франк-кондоновских нейтралов, образующихся при диссоциации молекул газа. Длительность работы системы напуска газа была обычно несколько больше 5 мс.

Для подавления поперечных потерь, связанных с развитием МГД неустойчивостей, реализован хорошо обоснованный ранее экспериментально и теоретически метод вихревого удержания [Е.И.Солдаткина, П.А.Багрянский, А.Л.Соломахин, Физика плазмы, 2008,

т.34, No.4, с.291-296.]. Вихревое удержание реализуется при создании «ступенчатого» вида радиального профиля электрического потенциала в плазме, причем «скачок» потенциала должен располагаться в периферийной по радиусу области плазменного столба. Такой профиль потенциала формировался при помощи специальных электродов: секционированных по радиусу поглотителей плазмы, расположенных за пробками вблизи плоскостей, где величина магнитного поля в 100 раз меньше соответствующей величины в пробках, а также при помощи радиальных лимитеров, установленных внутри ловушки вблизи магнитных пробок. На радиальные лимитеры и наружные радиальные секции поглотителей плазмы, которые проецировались друг на друга по силовым линиям магнитного поля, подавался положительный электрический потенциал величиной 250-300 В относительно заземленных внутренних секций поглотителей плазмы. Радиальное распределение электрического потенциала такого вида порождает зону дифференциального вращения плазмы в периферийной по радиусу области плазменного столба. При этом оказывается, что сочетание дифференциального вращения плазмы с ее движением в стадии насыщения неустойчивых МГД мод приводит к формированию стационарной вихревой структуры линий потока плазмы.

В рамках работы проведен анализ влияния сдвигового течения на удержание плазмы в пробкотроне. Построены аналитическая и численная модели вихревого удержания, которое реализуется при формировании перепада электрического потенциала в плазме вблизи радиуса лимитера. Модель учитывает наиболее существенные эффекты, которые определяют конвективный поперечный перенос в плазме в условиях дифференциального вращения: электрический контакт с лимитерами и торцевыми поглотителями плазмы, градиент электронной температуры, эффекты конечного ларморовского радиуса, и поэтому способна описать нелинейное развитие различных крупномасштабных неустойчивостей. В частности, описываются неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, желобковая и температурно-градиентная.

Вихревое удержание плазмы, описываемое моделью, заключается в том, что горячая центральная часть разряда может удерживаться в застойной зоне вихревого течения. Если это течение генерировать и поддерживать внешними источниками, то можно попасть в режим с малыми конвективными потерями. Хотя плазма остаётся линейно неустойчивой, конвекция насыщается на низком уровне, и, главное, центральная конвективная ячейка не доходит до лимитера. Нелинейное насыщение конвекции, как и генерация вихревого течения связаны с торцевой токовой диссипацией. Эта диссипация особенно эффективна для крупномасштабных мод типа  $m=1$ , преимущественная селекция которых происходит в плазме с горячими ионами за счёт эффектов конечного ларморовского радиуса (КЛР). Основной вывод заключается в том, что для газодинамической ловушки метод вихревого удержания позволяет достичь мощности поперечных потерь энергии в 10–15 % от мощности продольных. При этом дополнительные энергетические затраты на поддержание режима вихревого удержания не превышают нескольких процентов от полной мощности нагрева плазмы. Эти выводы справедливы и для проектируемого источника нейтронов на основе ГДЛ.

### 4.1.3 Результаты экспериментов

Проведено несколько серий экспериментов с различными комбинациями масс горячих ионов и ионов теплой плазмы. Наиболее близким к стационарному оказывается режим с инъекцией водородных пучков в водородную плазму. Наибольшее значение диамагнетизма получено в режимах с инъекцией дейтериевых пучков в водородную или дейтериевую плазму. Эти обстоятельства связаны с различным значением энергетического времени жизни горячих ионов, которое определяется, в основном, торможением на электронах и про-

порционально массе ионов:

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

где  $m_i$ ,  $z$  – масса и заряд горячих ионов,  $m_e$ ,  $e$ ,  $n$ ,  $T_e$  – масса, заряд, плотность и температура электронов,  $\Lambda$  – кулоновский логарифм.

На рисунке 1 показана временная зависимость локального изменения магнитного поля, связанная с диамагнетизмом плазмы в режиме с инжекцией дейтериевых пучков в водородную плазму. Измерения проведены в центре плазменного столба в области остановки горячих ионов при помощи пучково-спектроскопической диагностики, основанной на динамическом эффекте Штарка [P.A.Bagryansky, P.P.Deichuli, A.A.Ivanov, et. al., Review of Scientific Instruments, V.74, Number 3(2003), pp.1592-1595]. Результаты измерений нормированы на значение вакуумного магнитного поля в точке измерения. Кроме того, на рисунке 1 показан временной ход интегрального по сечению плазмы изменения магнитного потока за счет диамагнетизма. Измерения сделаны при помощи диамагнитного зонда, установленного также вблизи области остановки горячих ионов. Пространственное разрешение при измерениях локального изменения магнитного поля составило 3 см, временное разрешение было 1 мс. Среднее значение отношения локального изменения магнитного поля за счет диамагнетизма плазмы к вакуумному магнитному полю по серии измерений составило  $\Delta B/B_v=0,32$ , максимальное значение, полученное в одном из «выстрелов», достигло  $\Delta B/B_v=0,37$ . Значения параметра  $\beta$  были получены из результатов измерений с помощью уравнения равновесия плазмы в параксиальном приближении:

$$\beta = 2 \cdot \frac{\Delta B}{B_v} - \left( \frac{\Delta B}{B_v} \right)^2,$$

где  $B_v$  – значение вакуумного магнитного поля,  $\Delta B = B_v - B$  – изменение магнитного поля за счет диамагнетизма плазмы,  $B$  – измеренное значение поля.

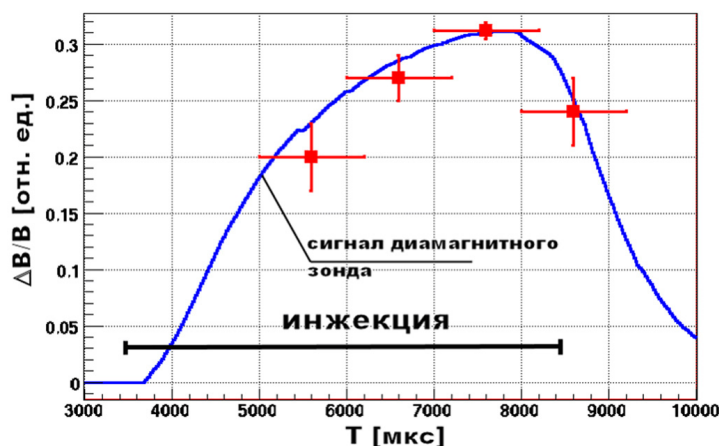


Рис. 1. Временной ход относительного изменения магнитного поля в центре плазменного столба в области остановки горячих ионов (квадраты). Сигнал диамагнитного зонда пропорциональный интегральному по сечению плазмы изменению магнитного потока (сплошная линия).

Среднему значению  $\Delta B/B_v=0,32$  соответствует  $\beta=0,54$ , максимальному значению  $\Delta B/B_v=0,37$  соответствует  $\beta=0,6$ . Используя значения  $\beta$ ,  $B_v$  и средней энергии быстрых ионов  $\langle \epsilon \rangle$  можно оценить максимальную плотность горячих ионов  $n_h$  в области остановки:

$$n_h = \frac{\beta \cdot V_v^2}{8\pi \cdot \langle \varepsilon \rangle},$$

Для режима с  $\beta=0,6$  и  $\langle \varepsilon \rangle \approx 10$  кэВ из оценки следует:  $n_h \approx 5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ .

Чтобы сравнить поперечные потери с продольными, а также построить скейлинг зависимости электронной температуры от мощности нагрева плазмы была проведена серия измерений ряда параметров плазмы в зависимости от мощности атомарных пучков. Система атомарной инжекции включает всего 8 инжекторных модулей. Серии измерений были проведены в режиме с инжекцией пучков водорода в водородную плазму с использованием 2, 4, 6, и 8 атомарных инжекторов. Было произведено измерение мощности пучков, захваченной в плазму, плотности плазмы и температуры электронов в центральной плоскости, а также мощности перезарядных потерь горячих ионов.

Оценка максимально достижимого значения температуры электронов в ГДЛ была произведена с учетом следующих предположений:

1. предполагалось, что реализуется стационарный режим относительно всех процессов, определяющих удержание плазмы в ГДЛ;
2. стационарный баланс энергии определяется равенством мощности нагрева атомарной инжекцией и мощности продольных потерь тепла при газодинамическом течение плазмы через пробки, поперечные потери отсутствуют.

Согласно выводам работы [Мирнов В.В., Ткаченко О.А., препринт ИЯФ, 86-28, Новосибирск 1986], которые хорошо согласуются с результатами эксперимента плотность потока ионов и электронов на «срезе» пробки в ГДЛ при газодинамическом течение плазмы равна:

$$q_i = q_e = 1.53 \cdot n_w \cdot \left( \frac{T_e}{2\pi m_w} \right)^{1/2},$$

где  $m_w$  – масса ионов теплой компоненты,  $n_w$  – плотность теплых ионов в центральной плоскости ГДЛ. Из результатов работ [А.В.Аникеев, П.А.Багрянский, Г.И.Кузнецов, Н.В.Ступишин, Физика Плазмы, т.25, №9, стр.1-9 (1999)] также следует, что каждая электрон-ионная пара, покидая газодинамическую ловушку, должна выносить в среднем энергию около  $8 \cdot T_e$ , а плотность потока энергии на «срезе» пробки должна быть равна

$$Q = 7,89 \cdot q_i \cdot T_e.$$

Приравнявая мощность продольных потерь в две пробки к мощности нагрева плазмы, получим:

$$P_{\parallel} = 2 \cdot Q \cdot S_m = \frac{2 \cdot Q \cdot \pi \cdot a^2}{R} = P_h, \quad (1)$$

где:  $S_m = \pi \cdot a^2 / R$  – площадь сечения плазмы на «срезе» пробки,  $a$  – радиус плазмы в центральной плоскости,  $R$  – пробочное отношение,  $P_h$  – мощность нагрева плазмы атомарной инжекцией (равна захваченной мощности атомарных пучков за вычетом перезарядных потерь горячих ионов, предполагается, что другие каналы потерь быстрых ионов несущественны). Подставив в равенство (1) соответствующие выражения и выразив  $T_e$ , получим в практических единицах:

$$T_e = 765 \cdot \left( \frac{P_h \cdot R}{n_w \cdot a^2} \right)^{2/3}, \quad (2)$$

где  $P_h$  следует выражать в МВт,  $n_w$  – в единицах  $10^{19} \text{ м}^{-3}$ ,  $a$  – в см, искомое значение  $T_e$  – в электрон-вольтах.

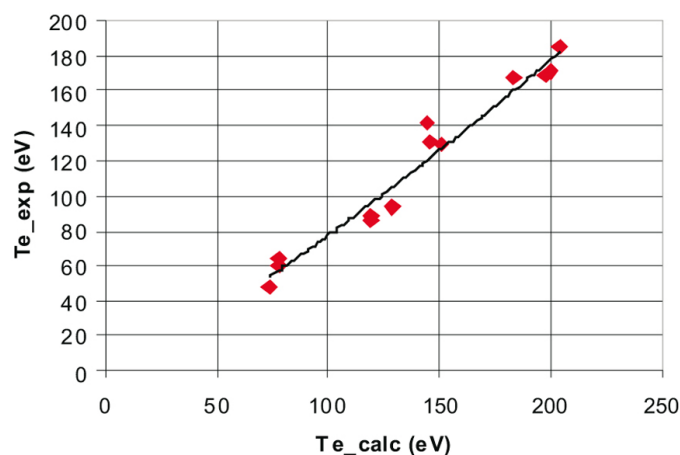


Рис. 2. Зависимость измеренной в эксперименте температуры электронов от вычисленной температуры по формуле (2) по результатам измерений с различной мощностью нагрева атомарной инжекцией.

На рисунке 2 показана зависимость температуры электронов, полученной в результате измерения при помощи системы лазерного рассеяния, от максимально достижимой температуры, которая была вычислена по формуле (2) для различных значений мощности нагрева плазмы. Видно, что при  $T_e > 150$  эВ результаты измерений и расчетов, основанных на самых жестких предположениях относительно удержания плазмы в ГДЛ, близки по абсолютной величине. Отличие при малых значениях  $T_e$ , очевидно, связано с ростом поперечных потерь при уменьшении температуры, что не учитывается в оценке (2). Максимальное значение  $T_e = 230$  эВ было получено в результате измерений в режиме с инжекцией дейтериевых пучков в дейтериевую плазму.

Из данных, представленных на рисунке 2, можно сделать два важных заключения:

- 1) при вихревом удержании в ГДЛ мощность поперечных потерь энергии мала по сравнению с мощностью продольных, так что оказывается справедливым скейлинг (2), основанный на простом балансе мощности нагрева и продольного потока энергии при газодинамическом течение столкновительной плазмы через магнитные пробки;
- 2) при увеличении захваченной мощности атомарных пучков до значений более 20 МВт, как этого требует проект источника нейтронов на основе ГДЛ, температура электронов должна быть  $\approx 1$  кэВ, что обеспечивает нужное время жизни горячих ионов и приемлемый уровень эффективности производства нейтронов.

## Выводы

По результатам экспериментов, представленных в настоящей работе, можно сделать следующие выводы: продемонстрировано устойчивое удержание плазмы с  $\beta=60\%$  в стационарном режиме, при этом продольные потери частиц и энергии хорошо соответствуют модели газодинамического истечения столкновительной плазмы через магнитные пробки, а роль поперечных потерь незначительна. Полученные результаты в совокупности с рядом предыдущих являются обоснованием реализуемости проекта источника нейтронов на основе ГДЛ с точки зрения ключевых вопросов физики удержания плазмы в магнитных ловушках открытого типа.

## 4.2 Установка ГОЛ-3

### 4.2.1. Введение

Научная программа 2009 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 2009 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.

Схема установки представлена на рис 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 Т, 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 Т. 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 Т, благодаря чему удельная плотность энергии на поверхности уменьшилась до величины, позволяющей применять металлы в качестве приёмных поверхностей.



Рис. 1. Схема 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  $\sim 3 \cdot 10^{20}$  м<sup>-3</sup> и температурой  $\sim 2$  эВ. Затем в стандартной постановке эксперимента 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 Т, соответствующего минимумам гофрированного поля). Такой пучок формируется в ленточном релятивистском диоде ускорителя У-2, а затем сжимается и преобразуется в пучок круглого сечения магнитной системой ускорителя. В результате коллективного нагрева плазма приобретает ионную температуру масштаба 2-3 кэВ (в наиболее горячей части плазменного столба). В следующем разделе будут описаны эксперименты, в которых электронный пучок был искусственно ограничен и имел на порядок



меньшие ток и площадь поперечного сечения. Использование многопробочной схемы удержания (гофрированного магнитного поля) позволяет удерживать горячую плазму гораздо дольше, чем в простой соленоидальной ловушке.

#### **4.2.2 Эксперименты с электронным пучком уменьшенного диаметра.**

В 2008 году на установке ГОЛ-3 была начата большая серия экспериментов по изучению взаимодействия релятивистского электронного пучка уменьшенного диаметра с плазмой и газом. Основной физической задачей этих экспериментов является проверка турбулентной термоизоляции горячей плазмы при уменьшении полного тока и полной мощности электронного пучка на порядок по сравнению с предыдущим режимом. При этом удельные параметры пучка (начальный угловой разброс и плотность тока в плазме) оставлены неизменными. В новом режиме поперечный размер пучка был уменьшен до 13 мм при токе  $\sim 1,5$  кА в максимуме. Для этого из сформированного стандартным образом электронного пучка вырезалась приосевая область при помощи графитового лимитера, расположенного в области финальной компрессии пучка перед инъекцией в соленоид. В новой геометрии диаметр электронного пучка стал существенно меньше диаметров вакуумной камеры и плазменного столба, поэтому далее такой пучок в тексте будет называться тонким.

Основные характеристики взаимодействия тонкого пучка с плазмой уже излагались в Научном отчёте ИЯФ за 2008 год, поэтому в этом разделе будут представлены только новые результаты. Несмотря на то, что в целом транспортировка пучка по плазменному столбу была устойчивой, а параметры плазмы в горячей области соответствовали ожидаемым, было обнаружено смещение области, нагреваемой пучком, относительно расчётного положения силовой трубки. Причём такое смещение было разным не только для разных выстрелов, но и могло меняться в ходе одного эксперимента.

На рис. 2 показаны подборки сигналов напряжения на диоде ускорителя (плавная огибающая) и трёх разных по энергии каналов многофольгового анализатора спектра пучка для двух выстрелов. Слева показан специальный калибровочный выстрел в вакуум с электронным пучком пониженной энергии. Видно, что сигналы анализатора, хотя и сильно изрезанны из-за наличия характерной микроструктуры пучка, являются непрерывными и длятся в течение положенного времени. В то же время на правой части рисунка наблюдается одновременное пропадание и восстановление сигналов анализатора. Количество и длительность таких разрывов изменяется от выстрела к выстрелу, в то время как сигнал детектора тормозного излучения пучка является плавным и непрерывным. Эффективность релаксации пучка, вычисляемая как относительное уменьшение средней кинетической энергии электронов, является практически постоянной по той части сигнала, вычисления по которой возможны. Эти обстоятельства свидетельствуют о том, что наблюдаемые разрывы сигналов объясняются смещением пучка относительно входной апертуры анализатора. При этом на поверхности приёмного коллектора амплитуда смещения как минимум сравнима с радиусом пучка.

Признаки смещения пучка относительно центра камеры наблюдаются и при помощи других диагностик. В частности, на рис. 3 показаны результаты измерения энергетического спектра плазменных электронов при помощи системы томсоновского рассеяния. В данных экспериментах проводилось одновременное измерение спектра в двух точках по радиусу: на оси (расчётный центр пучка) и на радиусе 6 мм (расчётный край нагреваемой пучком области).

При стабильной транспортировке пучка по плазме средняя энергия плазменных электронов в центре всегда должна быть больше средней энергии на краю, подобно представленному на рисунке случаю.

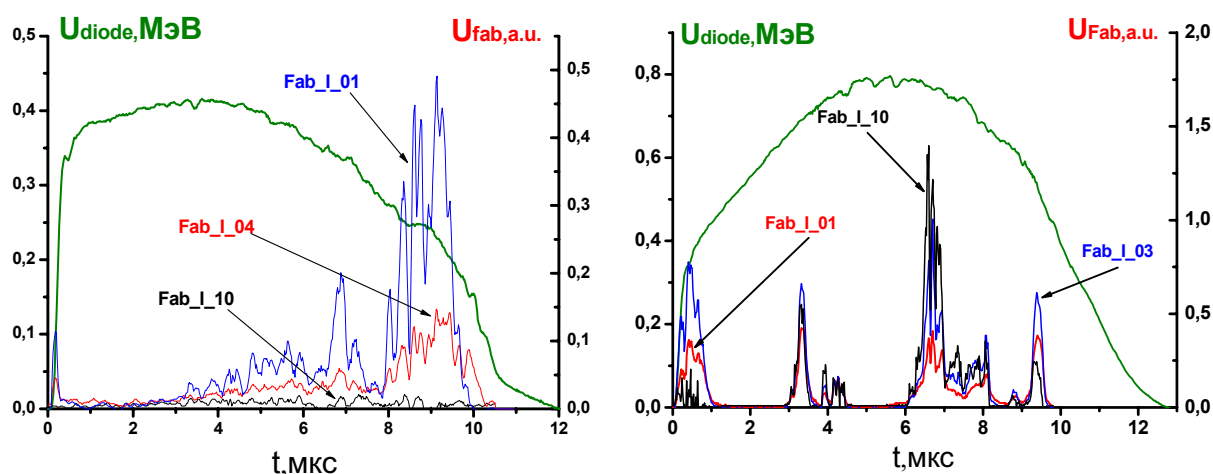


Рис. 2. Осциллограммы напряжения на диоде ускорителя (плавная огибающая) и трёх разных по энергии каналов многофольгового анализатора. Справа: инжекция пучка в вакуум, слева: инжекция пучка в плазму.

В экспериментах наблюдались и другие случаи: равенство средних энергий в двух каналах, более высокая энергия в крайнем канале, незначительный нагрев плазмы в двух каналах. Такой разброс показаний также свидетельствует о заметном смещении горячей области плазмы от выстрела к выстрелу. Заметим, что наблюдаемое смещение в точке расположения системы томсоновского рассеяния (на расстоянии 415 см от точки инжекции пучка) всё ещё достаточно мало, пучок остаётся в пределах области, занятой предварительной плазмой.

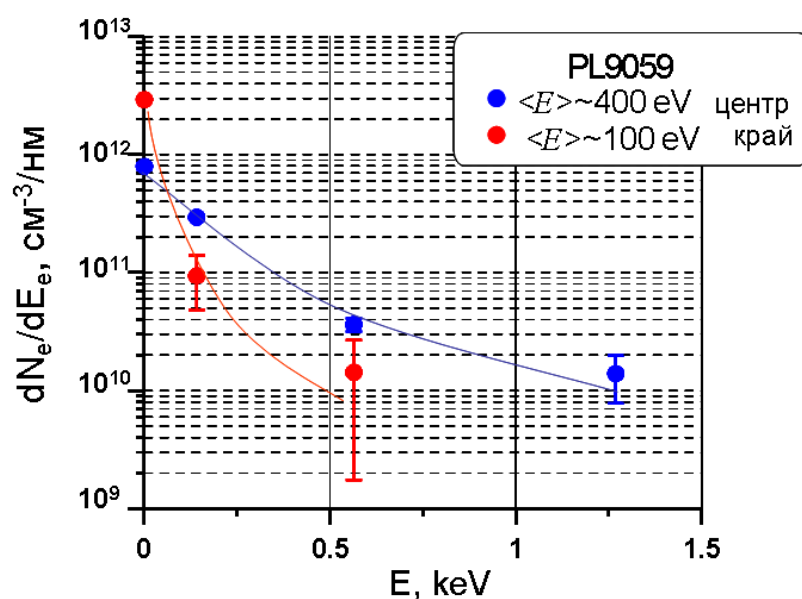


Рис. 3. Энергетический спектр плазменных электронов, измеренный при помощи системы томсоновского рассеяния одновременно в двух точках по радиусу: на оси (расчётный центр пучка) и на радиусе 6 мм (расчётный край нагреваемой пучком области).

В ходе экспериментов с тонким электронным пучком впервые для установки ГОЛ-3 появилась возможность непосредственного сравнения двух разных режимов: с инжекцией электронного пучка в заранее приготовленную низкотемпературную плазму и в нейтральный газ той же плотности. Ранее проведение подобных экспериментов было невозможным по двум причинам. Полный ток «стандартного» электронного пучка превышал предельный вакуумный ток, а при инжекции такого пучка в нейтральный газ или плазму с недостаточной

степенью ионизации быстро развивалась неустойчивость Крускала-Шафранова, приводящая к выбросу пучка на стенку и повреждению установки.

Измерения при помощи различных диагностик показали, что эффективность релаксации пучка в газе приблизительно вдвое хуже, чем в предварительной плазме равной плотности. Такое же отличие в два раза наблюдалось и в значении максимальной энергии, оставляемой пучком в плазме. Ранее в экспериментах на более короткой плазменной системе установки ГОЛ-3-I также был сделан вывод о том, что предварительная ионизация важна для эффективной релаксации пучка, однако те эксперименты были проведены с однородным магнитным полем.

Эксперименты с инъекцией пучка в неионизированный газ позволили также провести изучение особенностей формирования обратного плазменного тока и периферийной плазмы, по которой обратный ток распространяется. Оказалось, что наблюдаемый (интегрально за импульс) профиль свечения плазмы в ВУФ-диапазоне шире, чем расчётный размер (рис. 4). Интересным фактом оказалось то, что ионизация газа и формирование периферийной плазмы происходит не только в окрестности области, занятой электронным пучком, как ожидалось, но и во всём сечении вакуумной камеры (см. рис. 5). Поэтому дальнейшая эволюция параметров пучково-плазменной системы сходна с той, которая наблюдается при инъекции пучка в предварительную плазму.

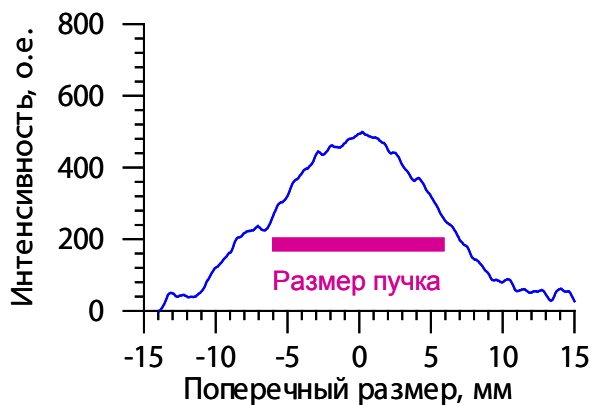


Рис. 4. Радиальный профиль излучения линии OV 76,0 нм (выстрел в газ).

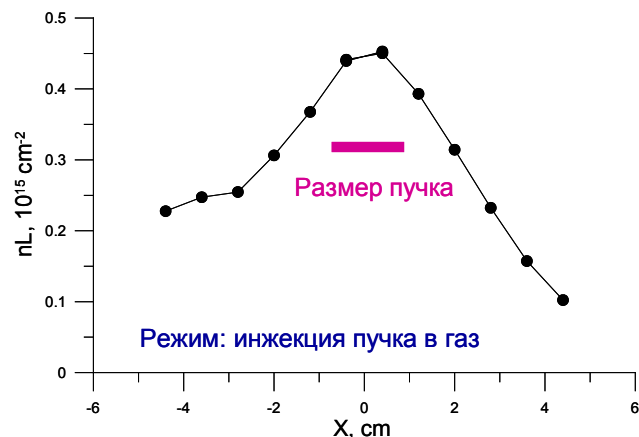


Рис. 5. Приращение плотности плазмы через 10 мкс после инъекции пучка (измерено по ослаблению пучка инжектора атомов водорода).

### 4.2.3 Регистрация субтерагерцового излучения из плазмы

При коллективной релаксации электронного пучка в плазме возможен процесс нелинейного слияния двух плазменных волн в электромагнитную волну за счёт накачки ленгмюровской турбулентности. При этом частота электромагнитной волны примерно соответствует удвоенной плазменной частоте. Таким образом, исследуя динамику спектра излучения, можно судить о ходе пучково-плазменного взаимодействия и о свойствах плазмы, изменяющихся в процессе эксперимента.

При плотности плазмы в диапазоне  $10^{20} \div 10^{21} \text{ м}^{-3}$  линейная частота  $2\omega_p$ -эмиссии приходится на диапазон 180÷565 ГГц. Для измерений интенсивности и спектра излучения вблизи двойной плазменной частоты в 2008 г. была разработана и впервые применена в экспериментах с микросекундным электронным пучком четырёхканальная радиометрическая диагностика, основанная на квазиоптических анизотропных сетках. За 2009 год были получены новые физические результаты, относящиеся к режиму с электронным пучком

уменьшенного диаметра.

Осциллограммы сигналов в экспериментах по исследованию поляризации электромагнитного излучения в окрестности удвоенной плазменной частоты приведены на рис. 6, исходя из которого можно заключить, что поляризация электромагнитного излучения в окрестности удвоенной плазменной частоты вдоль магнитного поля является преобладающей по сравнению с поляризацией поперёк магнитного поля.

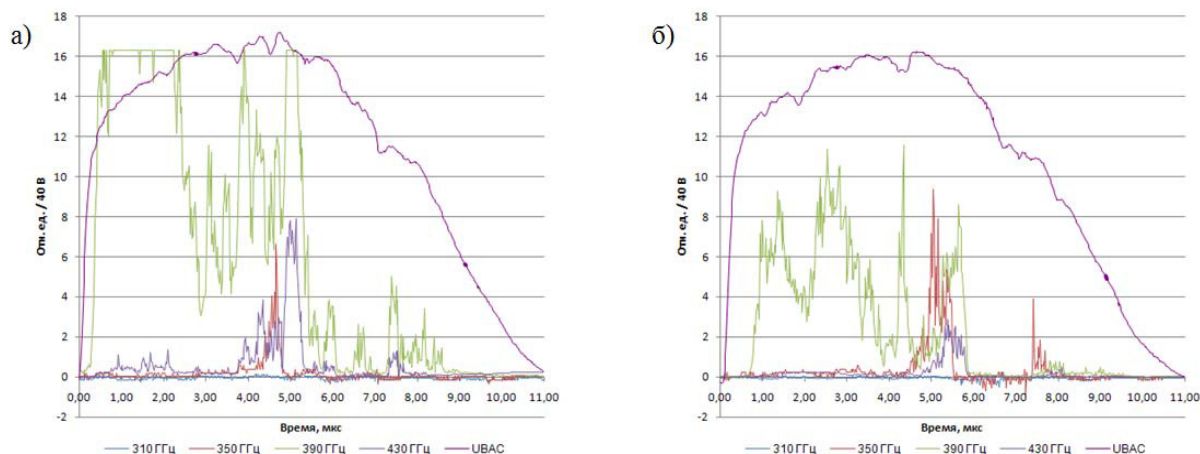


Рис. 6. Осциллограммы напряжения на диоде (верхняя огибающая) и сигналы суб-ТГц диагностики: а) поляризация излучения вдоль магнитного поля, б) поляризация излучения поперёк магнитного поля.

Важным новым результатом явилась демонстрация высокочастотной структуры микроволнового излучения, которую удалось выявить при переходе к уменьшенному диаметру электронного пучка. Динамика излучения с временным разрешением 2 нс представлена на рис. 7. Видно, что сигналы детектора образованы большим количеством частично перекрывающихся коротких всплесков излучения, каждый из которых имеет длительность  $2 \div 5$  нс на фоне более медленной огибающей  $1 \div 3$  мкс.

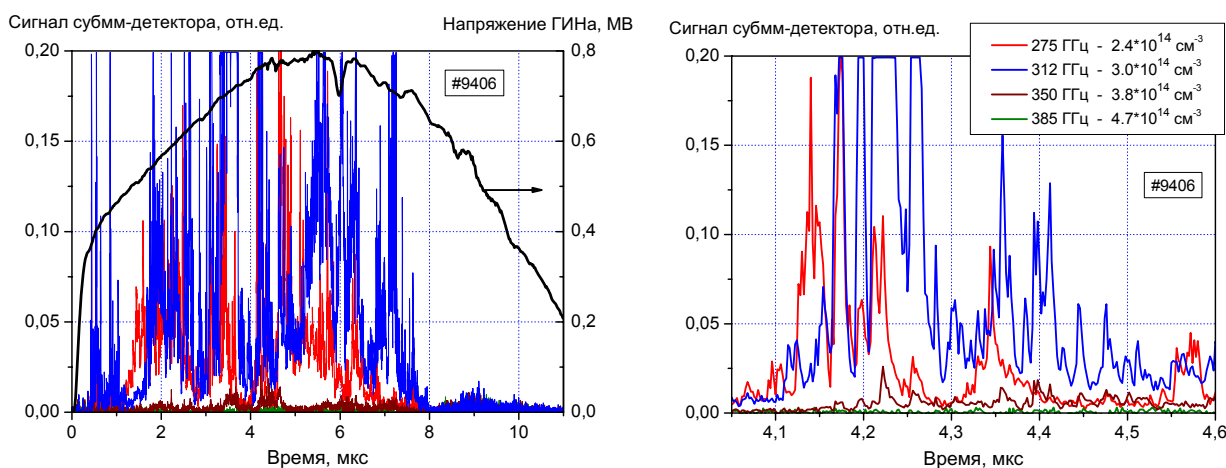


Рис. 7. Осциллограммы напряжения на диоде (верхняя огибающая) и сигналы суб-ТГц диагностики: а) полная длительность инъекции пучка, б) фрагмент.

Наиболее вероятной интерпретацией такого поведения сигналов является следующее. Излучение идёт из отдельных небольших короткоживущих областей плазмы, в которых есть повышенная концентрация ленгмюровских плазмонов. Предсказания теории и ранее проведённые на установке ГОЛ-М эксперименты дают хорошего кандидата для такого рода

излучающих областей. Это – динамические провалы плотности (каверны) с запертыми в них ленгмюровскими колебаниями, которые возникают на конечной стадии развития ленгмюровской турбулентности. Время существования и пространственные масштабы динамических провалов плотности, наблюдавшиеся на установке ГОЛ-М, соответствуют измеренной длительности отдельных всплесков микроволнового излучения. При измерениях с полномасштабным электронным пучком эта структура была гораздо менее заметна в силу значительно большего количества одновременно излучающих областей.

В отдельных экспериментах наблюдался сдвиг максимума спектральной мощности такого излучения в область более высоких частот, что может соответствовать увеличению плотности плазмы (см. рис. 8).

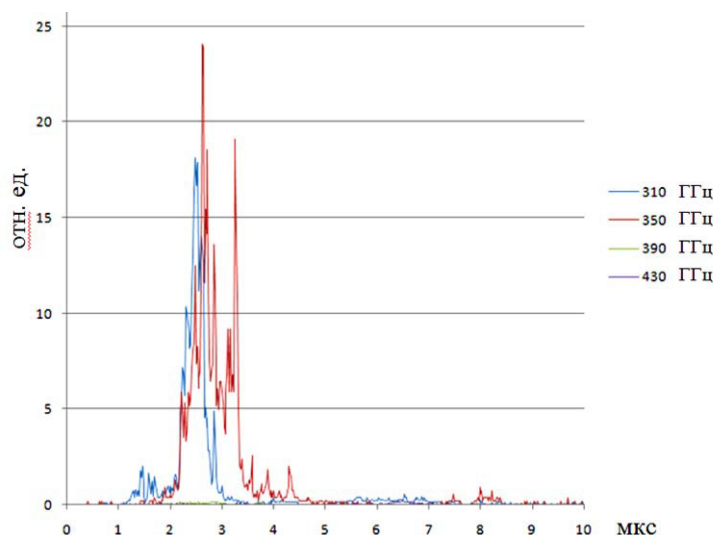


Рис. 8. Динамика сигнала в разных частотных каналах. Показан случай смещения спектра в область более высокой частоты.

#### 4.2.4 Стабилизация электронного пучка

Как было отмечено выше, в экспериментах наблюдалось смещение электронного пучка относительно центра вакуумной камеры. При этом подобные смещения не приводили к выбросу пучка на стенку вакуумной камеры, то есть в пределах плазменного столба амплитуда смещения была ограниченной. Этот факт отличает данный вид неустойчивости пучка от известного и наблюдавшегося ранее в неустойчивых режимах на ГОЛ-3 выброса пучка и плазмы на стенку из-за неустойчивости Крускала-Шафранова.

Возможны несколько причин, приводящих к такой неустойчивости. Одной из них является асимметрия протекания обратного тока по плазменному столбу. В текущей конфигурации эксперимента выходной приёмник пучка был вынесен в область слабого магнитного поля так, чтобы снизить тепловую нагрузку на его поверхность до приемлемой величины. Такое положение выходного приёмника затрудняет формирование обратного тока через плазменный столб, поэтому протекание обратного тока по плазме может быть аксиально-несимметричным. Это, в свою очередь, может приводить к смещению пучка как целого и к его размытию.

Для проверки данного предположения была проведена серия экспериментов, в которых условия формирования обратного тока были улучшены. С этой целью вблизи поверхности выходного приёмника был организован импульсный напуск тяжёлого газа (криптона). В экспериментах варьировалось два параметра: полное количество атомов криптона и его

распределение по длине.

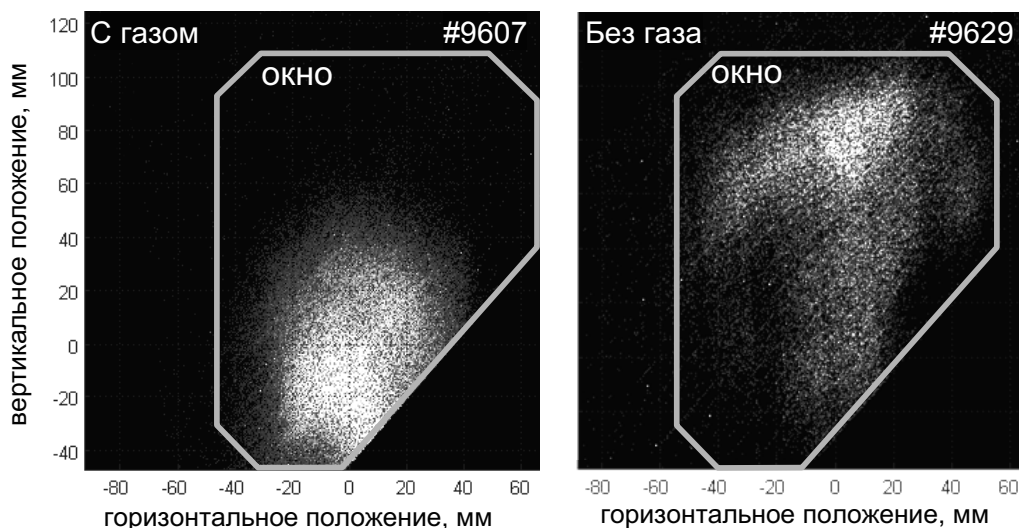


Рис. 9. Рентгеновская фотография отпечатка электронного пучка на выходном приёмнике. Экспозиция 1 мкс. Слева: производился напуск криптона вблизи поверхности коллектора, справа: без газа. Светлая линия на изображении показывает поле зрения рентгеновского ЭОП, ограниченное конструкцией установки.

Смещение отпечатка электронного пучка относительно расчётного положения и изменение его формы регистрировалось методами рентгеновской фотографии по тормозному излучению с поверхности приёмника пучка. На правой части рис. 9 показан типичный вид отпечатка в стандартном режиме работы установки – центр тяжести пучка смещён относительно расчётной силовой линии, а его форма далека от симметричной. Инжекция криптона непосредственно перед приёмником пучка действительно приводит к улучшению формы отпечатка. На левой части рис. 9 представлен случай с практически идеальным по форме и положению отпечатком. Следует отметить, что достигаемое при помощи импульсного напуска газа улучшение условий для формирования обратного тока не является единственной причиной, приводящей к неустойчивости транспортировки. Поэтому принятые меры приводят не к абсолютному, а статистическому улучшению транспортировки пучка. Происходит среднее (по большой серии экспериментов) улучшение стабильности пучково-плазменной системы, при этом в режимах с оптимальным напуском газа амплитуда искажений положения и формы пучка уменьшается. На рис. 10 показана зависимость асимметрии отпечатка пучка от продольного размера газового облака (выражаемого здесь через задержку инъекции пучка относительно срабатывания клапана с криптоном). Видно, что существует оптимум.

Такое статистическое улучшение наблюдается и рядом других диагностик, в том числе плазменных. Наблюдается заметное (до 6 дБ в полосе  $0 \div 1$  МГц) снижение уровня спектральных составляющих сигнала катушек магнитной диагностики, регистрирующей искажение токовой поверхности. Вдвое при оптимальной задержке напуска газа уменьшаются и средние потери энергии, регистрируемые системой стеночных калориметров, при этом соответственно уменьшаются и значения максимальных потерь энергии.

В целом проведённая серия экспериментов показала, что условия формирования обратного тока на поверхности приёмника пучка действительно важны для обеспечения стабильной транспортировки пучка по плазме. Данный результат был чётко выявлен именно в экспериментах с электронным пучком уменьшенного диаметра.

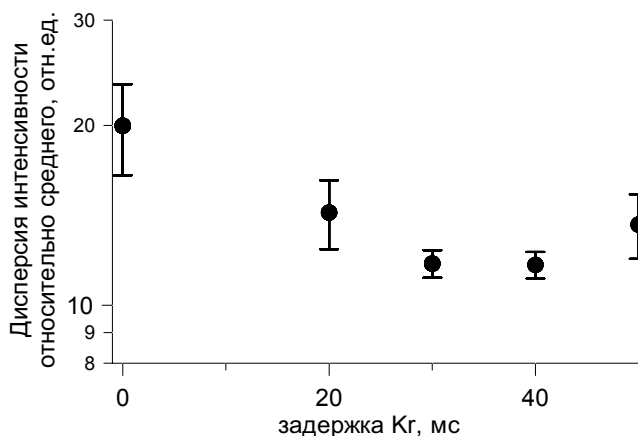


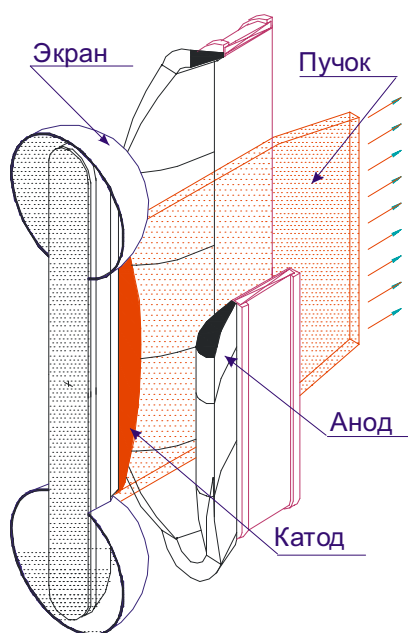
Рис. 10. Зависимость асимметрии рентгеновского изображения электронного пучка от времени задержки инжекции пучка относительно срабатывания клапана с криптоном.

#### 4.2.5 Улучшение характеристик пучка ускорителя У-2

В течение 2009 года была осуществлена модернизация основных элементов ускорителя микросекундного ленточного пучка У-2. Она включала в себя оптимизацию геометрии ленточного магнитно-изолированного диода, а также разработку, создание и испытание новых высокоточных коммутаторов для емкостного накопителя У-2.

##### Оптимизация диодной геометрии

С целью улучшения параметров мощного микросекундного ленточного пучка, а именно увеличения его яркости, с помощью кода POISSON-2 в 2008 году была проведена серия расчетов по моделированию генерации пучка в различных геометриях диода. В этих расчетах были выбраны оптимальные геометрия поверхности анодной щели, а также конфигурация магнитного поля в диодной области. По результатам моделирования в КБ ИЯФ была разработана конструкция нового диода, на основе которой в ЭП-1 были изготовлены элементы анода и транспортного канала. Новая геометрия диода ускорителя У-2 представлена на рис. 11.



Ее особенностью является сглаженная форма поверхности анодной щели при переходе в транспортный канал, которая должна обеспечить существенное снижение углового разброса пучка, набираемого электронами в неоднородностях электрического и магнитного полей. В расчетах учитывались поля, создаваемые как внешними источниками, так и собственными зарядами и токами пучка.

В сентябре 2009 г. монтаж нового диодного узла был начат, а в октябре уже получен первый ленточный пучок в новой диодной геометрии. По результатам первых опытов по генерации ленточного пучка в таком диоде показано, что характерные параметры пучка (энергия электронов 0,75 МэВ, ток пучка до 30 кА, длительность генерации 10-12 мкс) остались приблизительно на том же уровне, что и раньше, но средний угловой разброс пучка уменьшился. На это указывают результаты экспериментов по генерации пучка в диоде с малым ведущим магнитным полем (~1 кГс), в кото-

рых пучок сжимался в адиабатически нарастающем магнитном поле более чем в 60 раз по сечению. Осциллограммы напряжения на диоде и тока пучка в типичном выстреле представлены на рис. 12.

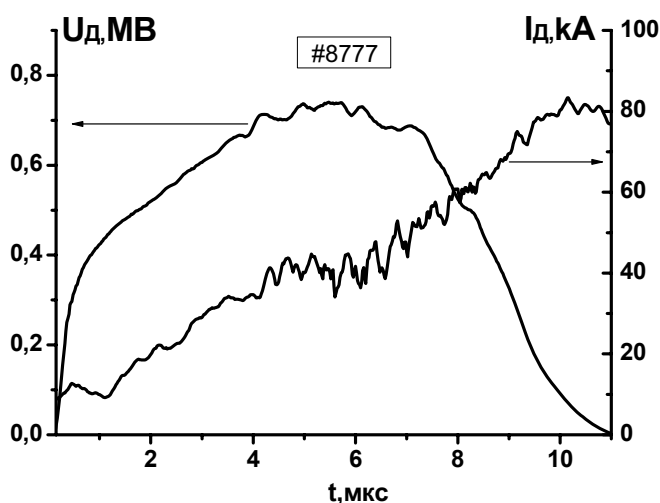


Рис. 12. Параметры пучка в ленточном диоде У-2 в типичном выстреле: напряжение на диоде  $U_d$  и ток пучка  $I_d$ .

#### Разработка и испытание опытного образца сильноточного коммутатора

Сильноточные коммутаторы применяются в емкостном накопителе У-2 для формирования импульсов высокого напряжения по схеме Фитча. Использованные ранее коммутаторы производства ВЭИ им. Ленина (г. Истра) за 25 лет эксплуатации выработали свой ресурс и требовали замены, производство разрядников с требуемыми характеристиками прекращено. По этой причине лабораторией 10 и НКО ИЯФ была проведена разработка нового коммутатора с более высокими рабочими параметрами, который мог бы производиться в ЭП ИЯФ. Фотография изготовленного коммутатора и его элементов приведена на рис. 13. Перед монтажом в накопитель коммутатор был испытан в отдельной ячейке Фитча, собранной на специальном стенде. Испытания проводились при рабочем напряжении 50 кВ, коммутируемом токе 120 кА и суммарном протекшем заряде 2 Кл. В сериях от 500 до 2000 импульсов было проверено 7 экземпляров, и все они успешно выдержали испытания. Во время опытов коммутаторы показали высокую надежность, отсутствие пробоев и самозапусков без существенного изменения состояния разрядных электродов. В настоящее время часть коммутаторов смонтирована в накопителе У-2 и проходит проверку в рабочих условиях, остальные готовы к монтажу.



Рис. 13. Фотография сильноточного коммутатора, изготовленного в ИЯФ.



Эта разработка позволит поднять напряжение зарядки конденсаторов и довести энергозапас накопителя У-2 до проектных параметров, что, в свою очередь, даст возможность увеличить энергосодержание пучка и, тем самым, достигнуть более высоких параметров эксперимента на установке ГОЛ-3.

#### 4.2.6 Развитие технологии формирования интенсивных электронных пучков большой длительности с плазменным эмиттером

В 2009 г. на площадке комплекса ГОЛ-3 был завершен монтаж и проведены испытания высоковольтного генератора импульсного напряжения (ГИН), предназначенного для формирования импульса ускоряющего напряжения в источнике электронного пучка с дуговым плазменным эмиттером. ГИН работает по принципу частичного разряда высоковольтной емкости. К числу основных элементов ГИН относятся: высоковольтный выпрямитель (200 кВ, 10 кВт), емкостной накопитель (200 кВ, 1,2 мкФ), а также коммутирующий и кроу-барный разрядники. Последний предназначен для формирования заднего фронта импульса напряжения и защиты электронно-оптической системы источника пучка в случае пробоя. Разрядники выполнены по многоззорной схеме, рабочей средой служит воздух при атмосферном давлении. Диапазон управляемости кроубара лежит в пределах от 30 до 180 кВ. Падение напряжение на кроубаре при срабатывании - не более 500 В.

При испытаниях ГИН на омическую нагрузку была продемонстрирована возможность получения квазипрямоугольных импульсов ускоряющего напряжения заданной длительности с амплитудой от 40 до 150 кВ. Величина спада ускоряющего напряжения за время импульса определяется емкостью высоковольтной конденсаторной батареи и током нагрузки. При токе пучка в 100 А и существующей емкости конденсаторной батареи 1,2 мкФ относительный спад ускоряющего напряжения составит меньше 10% при длительности импульса 100 мкс и ускоряющем напряжении >100 кВ. Постоянство величины напряжения важно с точки зрения поддержания максимального тока пучка на протяжении всего импульса, поскольку (как ранее было установлено в стендовых экспериментах с 30 кВ источником пучка) снижение ускоряющего напряжения приводит к уширению элементарного пучка в каждой отдельной апертуре диода и, тем самым, увеличивает осаждение электронов пучка на край отверстия в анодном электроде. В свою очередь, рост токоосаждения на анод выше некоторого критического уровня приводит к пробое диода.

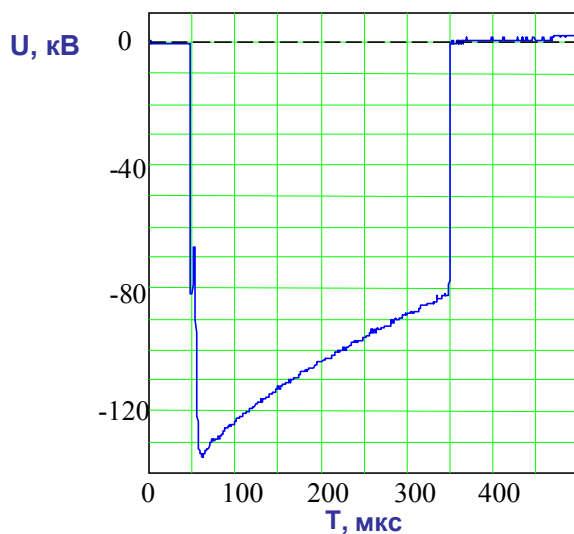
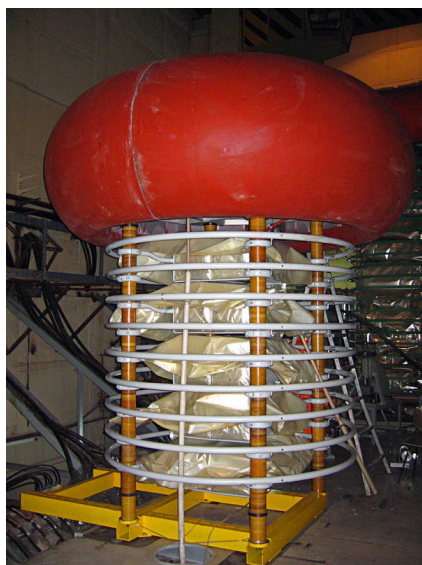


Рис. 14. Высоковольтная емкость генератора импульсного напряжения (1,2 мкФ, 200 кВ) и импульс напряжения, сформированный на нагрузку 1,27 кОм (емкость ГИН 0,54 мкФ).

Конструкция высоковольтной конденсаторной батареи предусматривает возможность будущего увеличения её емкости за счет увеличения числа и емкости конденсаторов.

На специальном стенде при ускоряющем напряжении до 30 кВ была проведена серия экспериментов по генерации субмиллисекундного электронного пучка в источнике с дуговым плазменным эмиттером и диодной электронно-оптической системой с 37 круглыми апертурами, расположенными (как и в прежних экспериментах) в виде гексагональной «решетки», в условиях внешнего магнитного поля величиной до 0,15 Т. Целью экспериментов являлось изучение физических подходов к получению в мультиапертурном ускорительном диоде пучка субмиллисекундной длительности с максимальными плотностью тока и полным током, а также исследование возможности достижения тока субкилоамперного уровня в источнике пучка с одиночным дуговым генератором эмиссионной плазмы при работе в продольном магнитном поле  $\sim 0,1$  Т. Эксперименты в этом направлении будут продолжены в 2010 г.

#### 4.2.7 Заключение

На установке ГОЛ-3 продолжают эксперименты, направленные на создание физической базы знаний, необходимой для сооружения термоядерного реактора на базе многопробочной 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. Продолжается работа над аналитическими и численными моделями, описывающими поведение плазмы в ловушке. Проводились также прикладные исследования по различным направлениям.

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. Сеницкий, В. Ф. Скляр, Н. В. Сорокина, В. Д. Степанов, А. В. Судников, Ю. С. Суляев, И. В. Тимофеев, Ю. А. Трунев, А. А. Шошин, В. А. Яровой.

## 4.3 Инжекторы пучков быстрых атомов и ионов

### 4.3.1 Инжекторы пучков быстрых атомов

Для нагрева плазмы в установке ТАС (США) изготовлены и поставлены два инжектора сфокусированных пучков атомов водорода с энергией 25 кэВ, мощностью 1 МВт, длительностью 5 мс. Выполнен проект модернизации других нагревных инжекторов ТАС, изготовленных и поставленных ИЯФ ранее по контракту в 2008 году. Цель модернизации состояла в снижении энергии атомов пучков с 40 кэВ до 20 кэВ при сохранении мощности инъекции. Для необходимого повышения тока пучка выбрана ионно-оптическая система с увеличенным эмиссионным диаметром и уменьшенными размерами элементарной ячейки.

На установке MST (Мэдисон, США) введен в строй инжектор для нагрева плазмы. Энергия атомов водорода в пучке равна 25 кэВ, мощность пучка - 1 МВт и длительность - 20 мс. Сфокусированный пучок быстрых атомов инжектируется в плазму через патрубок диаметром 10 см.

Разработан проект 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. При выполнении проекта предложено несколько вариантов источника отрицательных ионов водорода с током 5 – 10 А. Для достижения требуемой высокой эффективности инжектора в целом необходимо использовать нейтрализацию пучка отрицательных ионов в плазменной или фотонной мишени и рекуперацию отклоненных ионных пучков.

### 4.3.2 Стационарный источник отрицательных ионов водорода

В 2009 году на экспериментальном стенде продолжались работы по модернизации стационарного источника отрицательных ионов водорода (рис. 1) с целью:

- обеспечения продолжительной стационарной работы источника с током пучка 15мА;
- упрощения конструкции и процедуры замены «изнашиваемых» элементов;
- автоматизации управления источником.

Были созданы и успешно испытаны:

- магнитная система на постоянных магнитах NdFeB с внутренним магнитопроводом, защищающим высоковольтный изолятор ионно-оптической системы от потока сопутствующих электронов;
- конструкция газоразрядной камеры со сменными нагревателями катода и цезиевой системы, значительно упрощающая обслуживание, ремонт или замену нагревателей;
- введение тепловых экранов и диэлектрических развязок, а также оптимизация тепловых режимов электродов, предотвращающих накопление цезия в газоразрядной камере и снижающих его вынос в ИОС и ускоритель;
- программное обеспечение и сценарии автоматического запуска источника и поддержания стабильных рабочих параметров при долговременной работе.

Проведенная модернизация позволила снизить распыление электродов вторичными ионами и увеличить ресурс работы источника. На модернизированной версии источника было проведено несколько циклов непрерывных испытаний продолжительностью более 100 часов с током пучка 15÷17 мА.

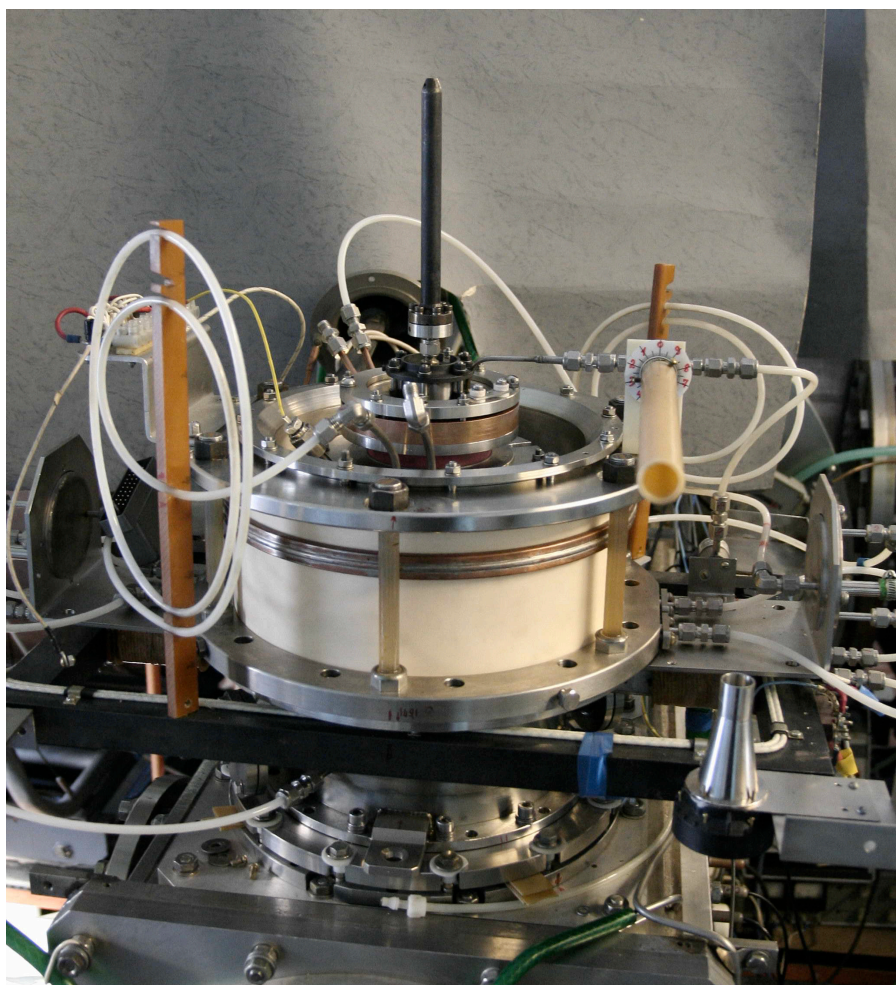


Рис. 1. Внешний вид стационарного источника отрицательных ионов водорода.

### 4.3.3 Стационарный высокочастотный источник протонов

Разработан высокочастотный (ВЧ) ионный источник, работающий в стационарном режиме с модуляцией пучка. В стандартном режиме скважность модуляции равна четырем. Источник формирует протонный пучок с током до 70 мА и энергией 50 кэВ с помощью одноапертурной четырехэлектродной ионно-оптической системы. Начальный диаметр пучка - 8 мм. Важной характеристикой пучка является его малая угловая расходимость, которая составляет менее 0,5 градуса. Источник разработан для применений в диагностике высокотемпературной плазмы, ускорительной технике, генерации нейтронов, ионной имплантации, ионной литографии. Малый фазовый объем пучка позволяет эффективно доускорять его до больших энергий.

В ионном источнике плазма, из которой извлекается протонный пучок, создается в высокочастотном разряде на частоте 4,6 МГц. Керамическая стенка плазменной камеры защищена водоохлаждаемым медным фарадеевским экраном с продольными щелями, покрытым тонким керамическим слоем для уменьшения рекомбинационных потерь плазмы. Пучок извлекается из плазмы и ускоряется до энергии 50 кэВ с помощью ионно-оптической системы (ИОС). Electrodes ИОС представляют собой массивные медные фланцы, охлаждение которых осуществляется водой по периферии. Центральная часть электродов с отверстием для формирования пучка сделана из молибдена, имеющего высокую стойкость к распылению ионами и быстрыми атомами.

Ионный источник схематически изображен на рис. 2. Фотография источника со снятым корпусом и электростатическим экраном приведена на рис. 3.

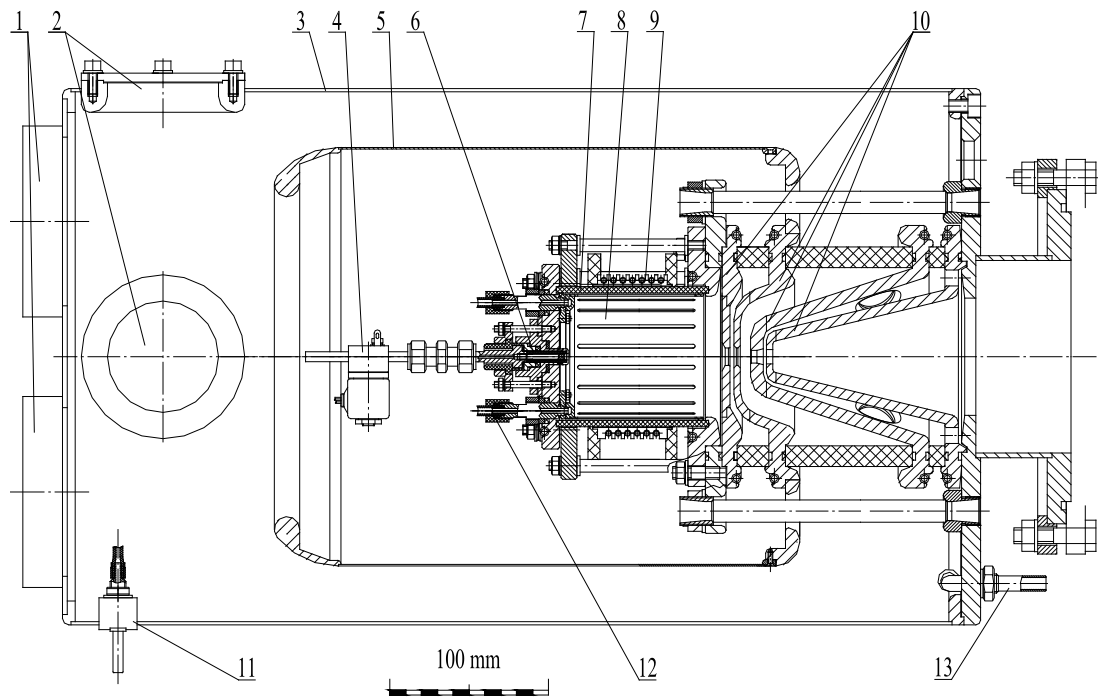


Рис. 2. ВЧ ионный источник: 1 – вентиляторы, 2 – фланцы для ввода ВЧ и высоковольтных кабелей, 3 – стальной корпус, 4 – газовый клапан, 5 – внутренний электростатический экран, 6 – поджиговый электрод, 7 – керамическая разрядная камера, 8 – фарадеевский экран, 9 – ВЧ антенна, 10 – ионно-оптическая система, 11 – ввод подачи газа, 12 – подводы охлаждающей воды, 13 – подводы охлаждающей воды для электродов ИОС.

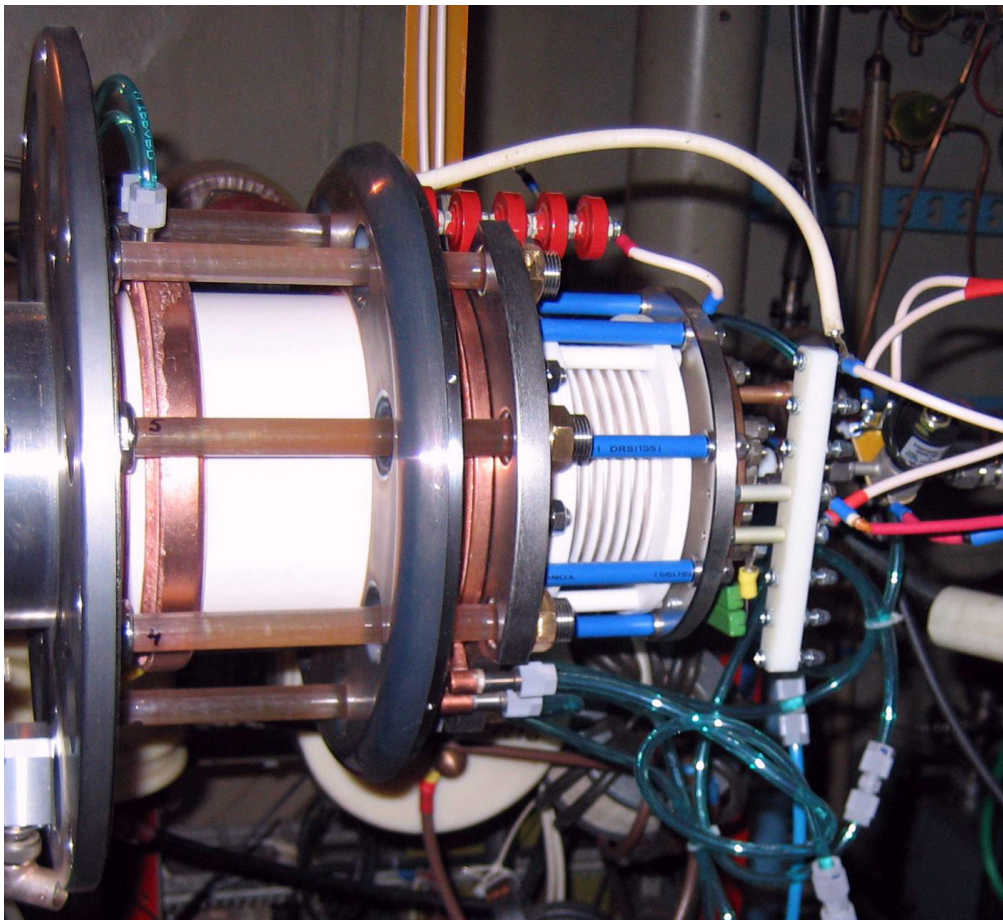


Рис. 3. Высокочастотный ионный источник.

### 4.3.4 Комбинированный источник фильтрованной катодно-дуговой плазмы для получения тонких пленок и защитных покрытий

Комбинированный источник (рис. 4) включает шесть импульсных катодно-дуговых источников, создающих поток металлической или углеродной плазмы, отфильтрованный от макрочастиц за счет отражения потока ионов от холловского слоя вблизи анода в поперечном магнитном поле. Этот способ фильтрации обеспечивает 70%-ную плазменную эффективность.

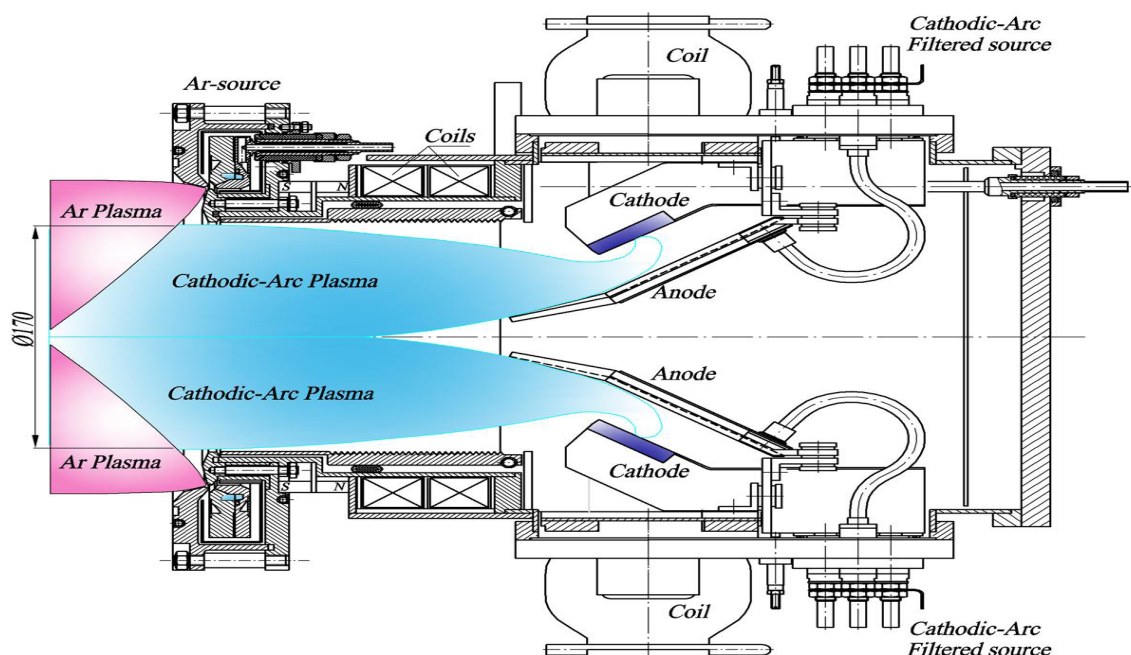


Рис. 4. Комбинированный источник фильтрованной катодно-дуговой плазмы.

Основные параметры источника:

- Продолжительность импульсов – (1 ÷ 5) мс.
- Импульсный ток ионов одного источника до 30 А (средний ток 1 А).
- Режим работы источников поочередный. Возможна одновременная работа трех источников с общим импульсным током ионов до 90 А (средний ток 3 А).

Кольцевой ионный источник с замкнутым дрейфом электронов и с ускорением плазмы в анодном слое (источник с анодным слоем) работает в импульсном или в квазистационарном режиме и может служить для создания тока ионов аргона до 2 А при парциальном давлении аргона в объеме не выше  $5 \cdot 10^{-4}$  Торр.

Импульсные источники катодно-дуговой плазмы и кольцевой источник с анодным слоем могут работать синхронно друг с другом. Потоки плазмы от обоих источников способны поступать поочередно или одновременно на одни и те же участки поверхности и обеспечить, в частности, технологию, требующую режима напыления в условиях ассистирования ионов инертных или активных газов с широким диапазоном энергий. Одновременное облучение ионами от обоих источников позволяет значительно расширить диапазон элементов, используемых при получении композитных и нанокompозитных покрытий.

В катодно-дуговом источнике используется более высокое напряжение холостого хода (до 450 В). При таких условиях осуществляется устойчивый дуговой разряд не только на

катодах из титана, циркония, меди и др. металлов, но и на катодах из таких материалов, как карбид бора ( $B_4C$ ). Это позволяет получать покрытия, содержащие бор (и углерод) при помощи источника катодно-дуговой плазмы. Также возможно для получения покрытий, содержащих бор, применить источник с анодным слоем, используя в качестве рабочего тела газообразные диборан ( $B_2H_6$ ) или тетраборан ( $B_4H_{10}$ ).

Описанный комбинированный источник может быть использован:

- для нанесения покрытий из металлов или графита,
- для получения алмазоподобных покрытий,
- для получения композитных и нанокompозитных покрытий,
- для получения покрытий из нитридов металлов (TiN, ZrN); при этом, технология нитридации может быть оптимизирована и усовершенствована при использовании кольцевого ионного источника для генерации ионов азота,
  - для получения покрытий из нитридов нескольких металлов - карбонитридов или борнитридов (TiAlN, ZrCN, Ti-B-CN, TiAlBN),
  - для получения биосовместимых покрытий, например, Ti-(Ca, Zr, Si)-(C, N, O, P),
  - для получения низкофрикционных покрытий, например, Ti-(Ca, Si, Nb, Zr)-(C, N, O),
  - для получения полупроводниковых структур ( $SnO_2$ ),
  - для получения покрытий с возможностью влиять на твердость, плотность или пористость,
    - для получения покрытий с улучшенной адгезией,
    - для очистки, травления, прогрева и других видов тренировки поверхностей заготовок ионами металлов и инертных газов при подаче высокого напряжения смещения на обрабатываемые заготовки.
  - с целью получения потока плотной плазмы для других задач.

Источник допускает:

- Возможность регулировки в широких пределах производительности источника плазмы за счет изменения тока разряда и частоты импульсов. Это позволяет на некоторых стадиях напыления осуществлять значительное снижение мощности.
- Возможность управлять энергетическим спектром частиц, используемых для формирования пленок, за счет изменения величины поперечного магнитного поля в катодно-дуговых источниках, влияющего на величину напряжения на разрядном промежутке.

Диапазон использования покрытий, произведенных с помощью комбинированного источника, включает следующие области: износостойкие покрытия; низкофрикционные покрытия; сверхтвердые покрытия; режущий инструмент; буровые головки; инструмент и устройства для биомедицины и приложений; биологические имплантаты; покрытия, стойкие к химическому воздействию; оптика и покрытия на прозрачных подложках; элементы электроники; нанотехнология.

Высокая производительность комбинированного источника требует интенсивного охлаждения деталей при нанесении покрытий. Для этого используется карусель с планетарным вращением деталей и охлаждением движущихся деталей за счет жидкометаллического контакта.

Работа выполняется по договору с компанией LUMIKS P.T.I. Ltd.

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





## 5.1 ВЭПП-2000 в 2009 году

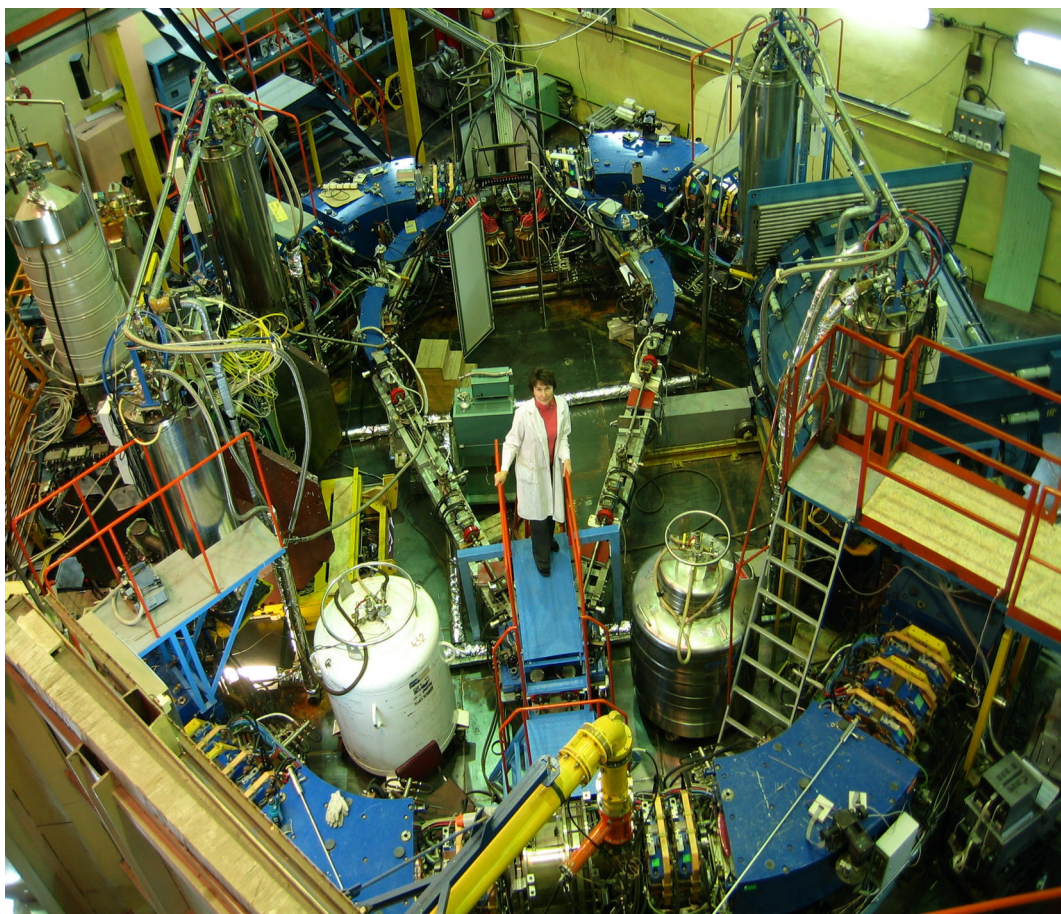


Рис. 1. В зале ВЭПП-2000.

В конце 2008 года была завершена модернизация сверхпроводящих соленоидов ВЭПП-2000, в результате чего расход жидкого гелия снизился в 2 раза. После установки соленоидов в 2009 году начались тренировки вакуумной камеры накопителя синхротронным излучением. Эта процедура необходима для получения рабочего давления в вакуумной камере накопителя ( $\sim 10^{-10}$  Торр). Для достижения малых значений десорбции требуется набрать интеграл тока пучка около 10 А·час по каждому направлению движения пучков. Эта работа велась в специальном "техническом" режиме без соленоидов и заняла практически два месяца. Такой длительный срок в значительной мере связан с возможностью работать с пучком только в ночное время, поскольку днем в экспериментальном зале весь год велись работы по сборке и наладке детекторов КМД и СНД.

В середине марта произошла вынужденная остановка комплекса. Её причиной стала ошибка оператора, которая привела к повреждению токовода в одном соленоиде. На устранение последствий этой ошибки ушел целый месяц, так что реальная работа с пучком в проектном режиме (круглые пучки) началась только в апреле. на полгода. В конце апреля на ВЭПП-2000 был проведен первый физический эксперимент вместе с детектором СНД. Измерение кривой возбуждения  $\phi$ -мезона представлено на рис. 2.

Поскольку, благодаря усилиям ВЭПП-2М, масса  $\phi$ -мезона известна с высокой точностью, первый эксперимент на ВЭПП-2000 позволил прокалибровать шкалу энергии накопителя по измерению магнитного поля системой датчиков ЯМР, установленных во всех магнитах (рис. 3).

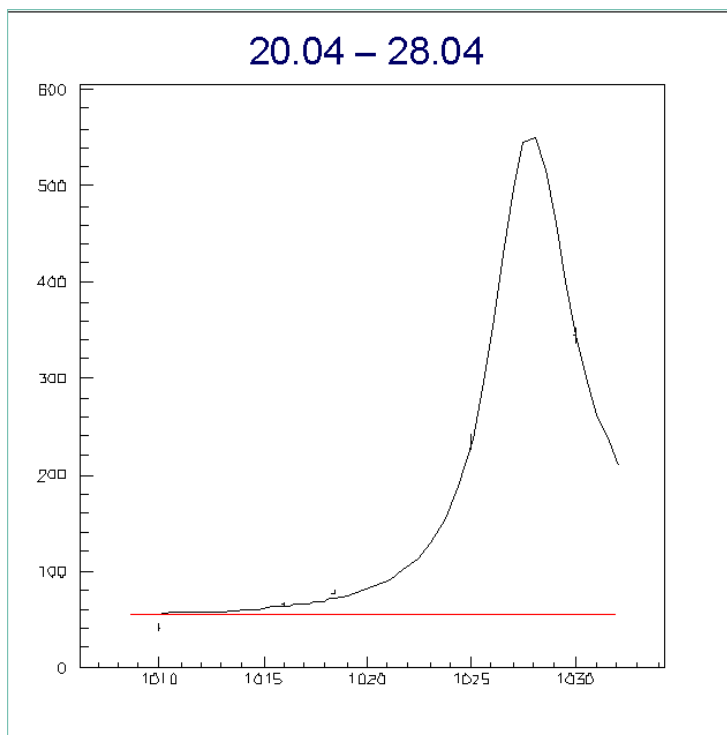


Рис. 2. Резонанс на энергии  $\phi$ -мезона.

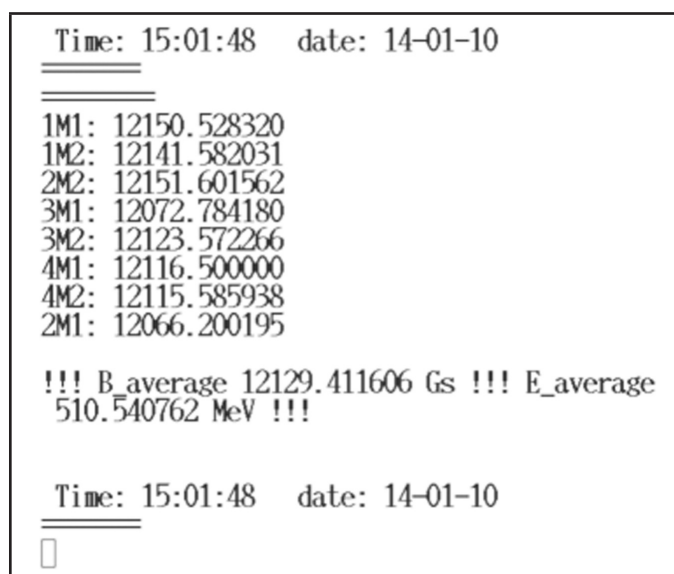


Рис. 3. Измерение энергии датчиками ЯМР.

В дальнейшем поправки энергетической шкалы, связанные с изменением эффективной длины магнитов, предполагается производить по измерениям энергии методом резонансной деполяризации. Для этого летом 2009 года на ВЭПП-2000 установлены пробники для регистрации частиц, претерпевших рассеяние внутри сгустка (рис. 4). В качестве деполяризатора предполагается использовать имеющийся блок пластин раскачки пучка. Кроме того, идет подготовка оперативного измерения энергии пучков по спектру Комптоновского рассеяния лазерных фотонов, как это делается на ВЭПП-4.

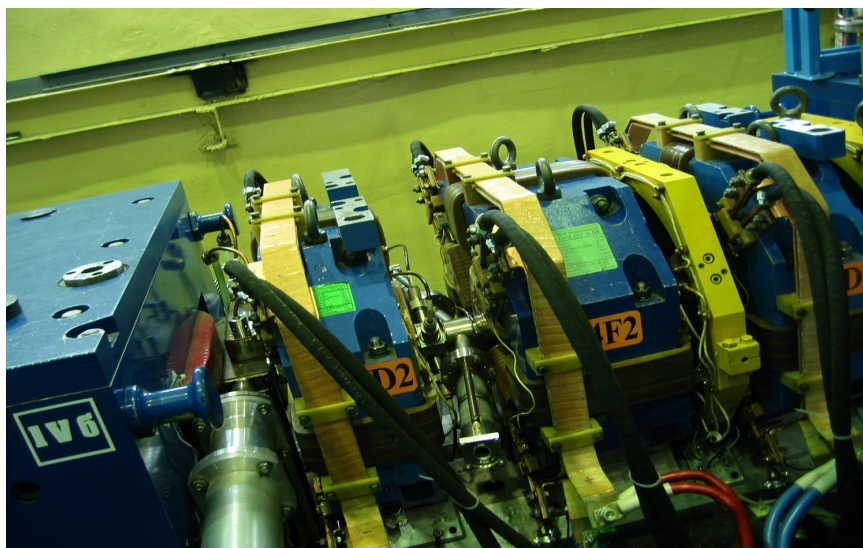


Рис. 4. Пробники регистрации частиц.

В летний период на ВЭПП-2000 был проведен ремонт зеркал и участка впуска пучков и установлены пробники. Эти мероприятия потребовали вскрытия половины вакуумной камеры накопителя. Поэтому в сентябре работа с пучком началась в техническом режиме без соленоидов. К моменту ее окончания в октябре выяснилось, что детектор КМД достаточно "созрел" для установки в промежуток ВЭПП-2000. Для этого пришлось снять два соленоида с накопителя и временно смонтировать их на КМД для сборки общей вакуумной камеры.

Затем вся эта конструкция с большим количеством электроники и кабелей въехала по рельсам в промежуток ВЭПП. К счастью, все прошло достаточно гладко и соленоиды точно вернулись на свои родные места. Однако, эта операция вновь потребовала тренировки вакуумной камеры пучком. Так что ВЭПП-2000 вернулся к нормальной работе в режиме круглых пучков только в декабре. В результате настройки всех систем комплекса состояние дел на начало 2010 года иллюстрируют следующие рисунки.

- Впервые в ВЭПП-2000 накоплен ток 150 мА электронов в одном сгустке. Эффективность перевода пучков из бустерного накопителя БЭП в ВЭПП-2000 в режиме накопления составляет 60-70 процентов. На рисунке 5 показан рабочий режим накопления электронов и позитронов в ВЭПП-2000.
- Налажено измерение бетатронных частот (рис. 6) с помощью Быстрого Фурье Анализа сигналов с пикап-электродов от колебаний пучка, возникающих после удара бегущим полем инфлектора. Причем для точных измерений используется инфлектор противоположного пучка, который за счет слабого отражения позволяет ударить пучок на доли миллиметра. Точность метода БФА - на уровне  $10^{-4}$ . С этой же точностью удастся проводить компенсацию связи поперечных колебаний пучка с кью-квадрупольными коррекциями.
- После ремонта зеркал оптическое наблюдение за пучками непрерывно осуществляется в 16 точках орбиты по свету, излучаемому с торцов магнитов. Оптическая диагностика позволяет одновременно определять координаты и размеры сгустков электронов и позитронов.

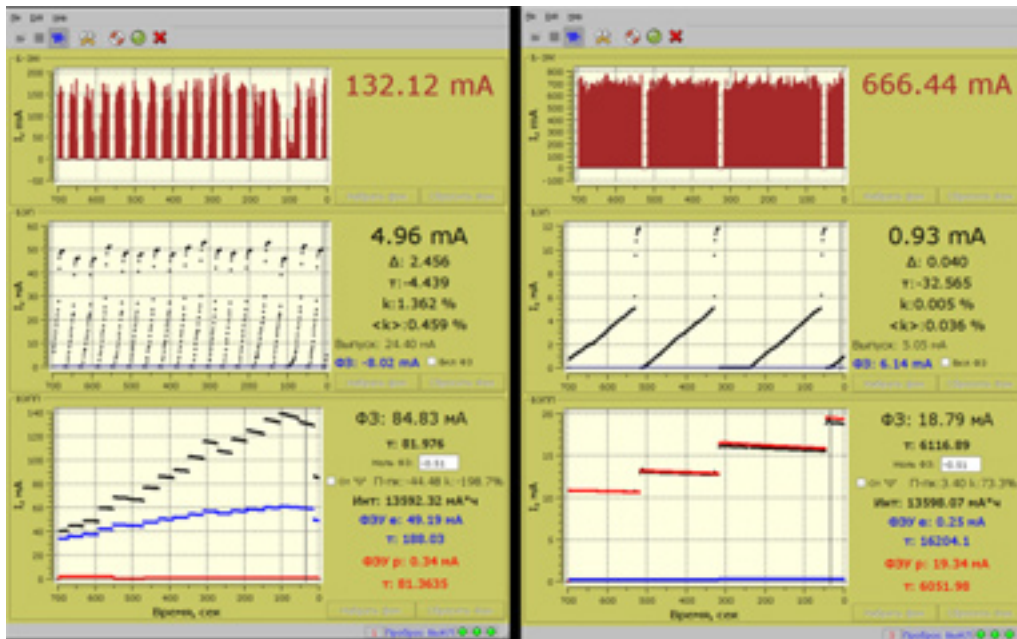


Рис. 5. Режим накопления токов в ВЭПП-2000.

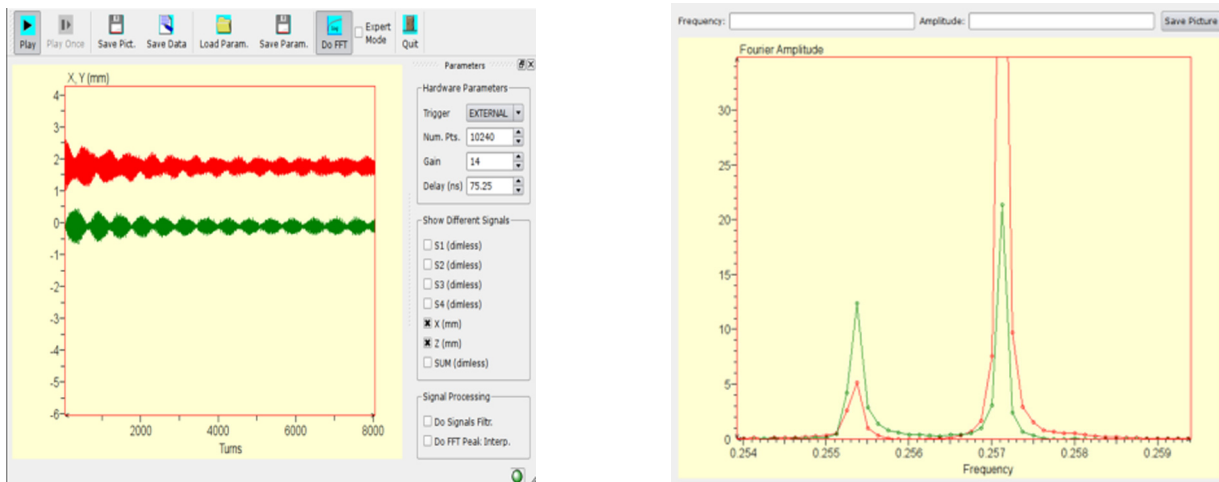


Рис. 6. Измерение бетатронных частот методом БФА.



Рис. 7. Оптическая диагностика на ВЭПП-2000.

Эта система вместе с пикапами используется для настройки электронной оптики кольца как специально рассчитанными "ручками", так и более общим методом снятия матриц

отклика. На рисунке 8 представлено, в частности, измерение дисперсионных свойств кольца ВЭПП-2000. Точки показывают измеренную горизонтальную дисперсионную функцию, которая с большой точностью занулена в промежутках между ахроматами. В нижней половине рисунка показана паразитная вертикальная дисперсия, которая не превышает нескольких процентов.

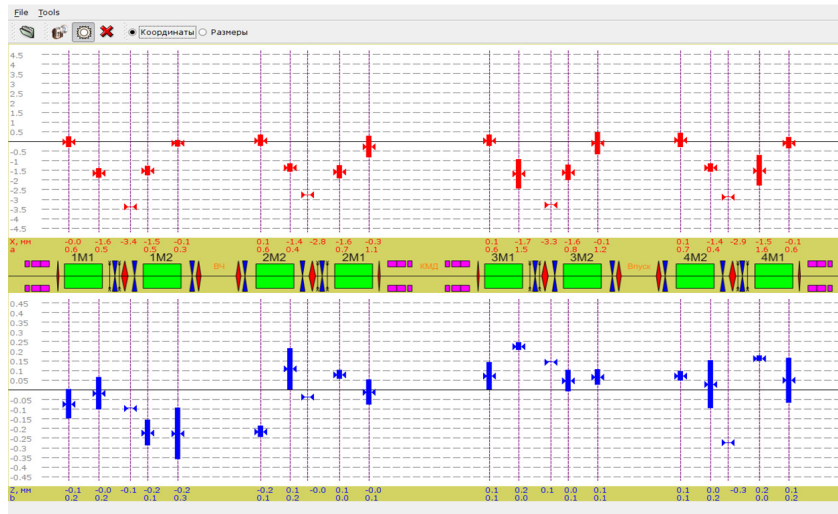


Рис. 8. Измерение дисперсии ВЭПП-2000.

После тренировки вакуумной камеры синхротронным излучением время жизни пучка при токе  $I \ll 1$  mA составляет порядка 10 часов. При рабочих токах время жизни падает из-за порчи вакуума (десорбция) и эффектов рассеяния внутри сгустка. Кроме того, потери частиц возрастают в области линейных резонансов. Зависимость времени жизни позитронного пучка ( $I^+ = 10$  mA) от рабочей точки показана на рис. 9.

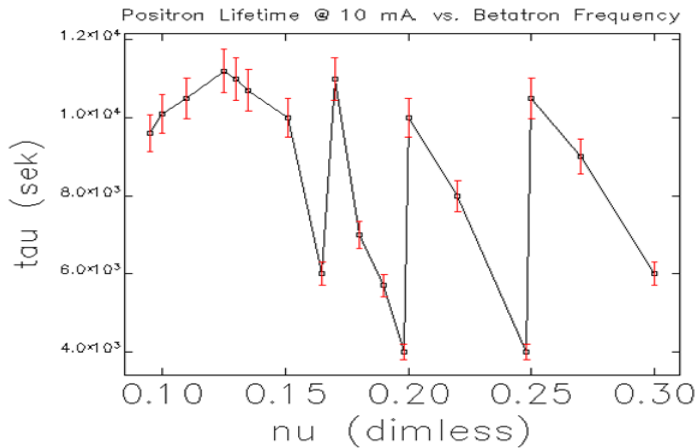


Рис. 9. Зависимость времени жизни позитронов от дробной части бетатронной частоты.

Исследована широкая область бетатронных частот для изучения эффектов встречи как в режиме "слабо-сильных", так и "сильно-сильных" пучков. На рис. 10 показана зависимость предельного тока пучков в "сильно-сильном" режиме от рабочей точки на резонансе.

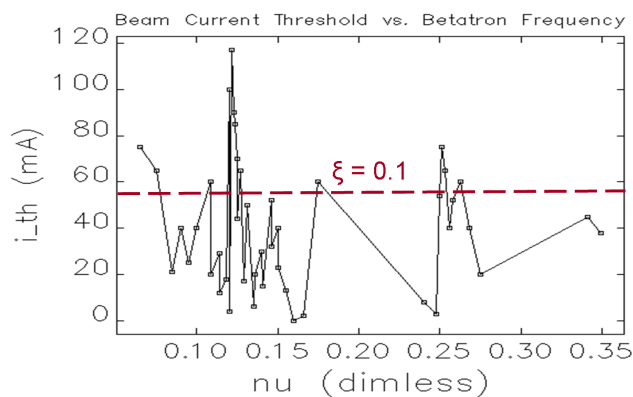


Рис. 10. Зависимость порогового тока электронов от дробной части бетатронной частоты.

Практическая работа (перепуски, накопление) в "сильно-сильном" режиме встречных пучков показана на рис. 11.

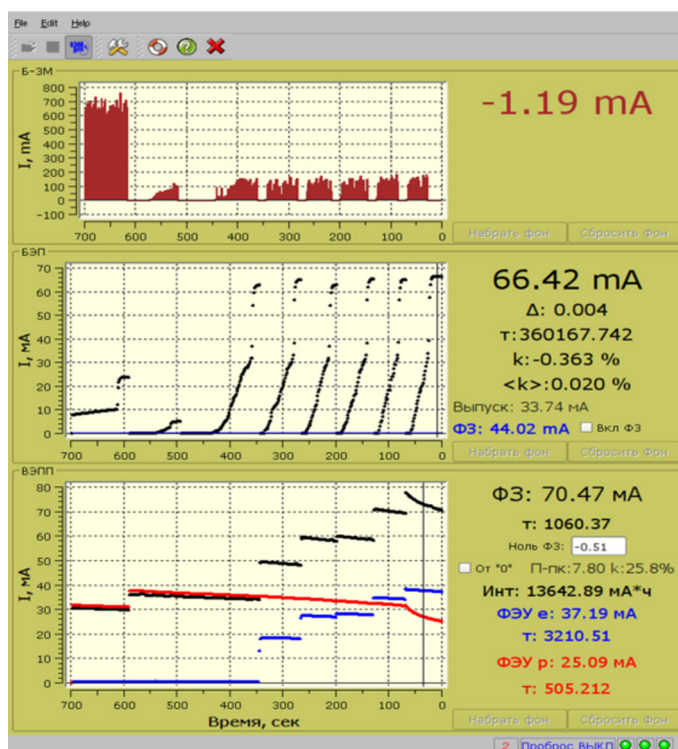


Рис. 11. Работа ВЭПП-2000 в сильно-сильном режиме.

"Проседание" позитронного тока происходит от сдвига рабочей точки встречным пучком и может быть скомпенсировано предварительным изменением бетатронной частоты. Тогда становится достижим коэффициент пространственного заряда  $\xi \sim 0,1$  (рис. 10).

## 5.2 Ускорительный комплекс ВЭПП-4

### 5.2.1 Распределение рабочего времени

В 2009 году на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М продолжались эксперименты по физике высоких энергий с детектором КЕДР. Подготовлен и проведен эксперимент по установлению предела на ширину узких резонансов в области энергий пучка 0,9-1,55 ГэВ.

В 2009 году завершена подготовка установки «Дейтрон» и проведен набор данных в эксперименте по измерению отношения сечений упругого рассеяния электронов и позитронов на протоне для определения вклада двухфотонного обмена в этом процессе.

Кроме физики высоких энергий и ядерной физики на комплексе проводились эксперименты с использованием пучков синхротронного излучения, выведенных из накопителей ВЭПП-3 и ВЭПП-4М. Работа с пучками СИ проводилась на 10 экспериментальных станциях ВЭПП-3, а также на станции «Космос» ВЭПП-4М.

Выполнен ряд работ по модернизации электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-4М: разработана и опробована на пучке система селективного деполяризатора, оптимизирована конфигурация системы измерения энергии методом обратного комптоновского рассеяния, для стабилизации пучка по поперечной координате и углу в экспериментальном промежутке ВЭПП-4М изготовлена и откалибрована рентгеновская камера-обскура.

На рис. 1 показано распределение времени по различным видам работ на комплексе ВЭПП-4 за 2009 г.

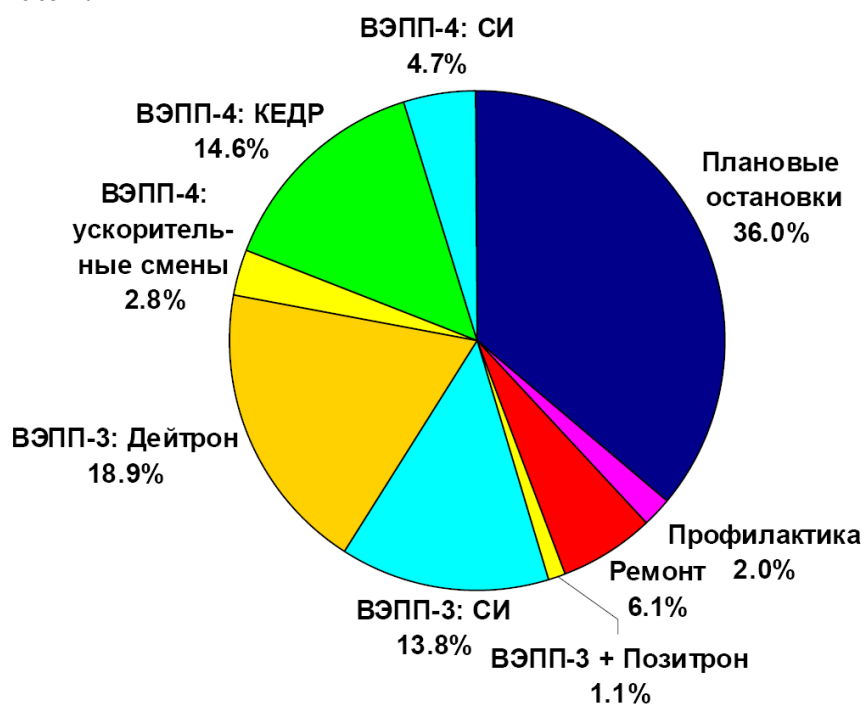


Рис. 1. Распределение рабочего времени на комплексе ВЭПП-4.

Как видно из рисунка, в этом году рабочее время комплекса распределено главным образом между экспериментами по ядерной физике на установке «Дейтрон» (18,9 %), экспериментами по физике высоких энергий с детектором КЕДР (14,6 %), и экспериментами с использованием синхротронного излучения (13,8 %). Заметную часть времени заняли плановые остановки (36,0 %). Рабочее время, выделяемое на исследования физики пучков и ускорителей, в 2009 году составило всего 2,8 %, это связано с очень напряженным гра-



фиком проведения экспериментов. Работы по ускорительной физике необходимы как для поддержания установок в рабочем режиме, требуемом для экспериментов, так и для актуальных исследований физики пучков. Регулярные профилактические работы (2,0%) выполняются еженедельно. Потери времени за счет неисправностей (6,1%) и ремонта в этом году относительно невелики, если учесть многочисленность, сложность и износ оборудования, большая часть которого эксплуатируется десятки лет.

## 5.2.2 Физика высоких энергий

В 2009 году продолжались эксперименты по физике высоких энергий с детектором КЕДР. До недавнего времени набор данных велся в относительно узкой области энергий в системе центра масс от 3,1 до 3,9 ГэВ (область  $J/\psi$ -,  $\psi'$ - и  $\psi''$ -мезонов и порога рождения тау-лептонов). В настоящее время начат эксперимент по прецизионному измерению сечения  $e^+e^-$  аннигиляции в адроны в широком интервале энергий от 1,8 ГэВ до 8-10 ГэВ и поиск узких резонансов в этом сечении в интервале от 1,8 ГэВ до 3,1 ГэВ, где такое исследование ранее не проводилось.

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. Этот интервал изучался ранее только в экспериментах с детекторами MARK-I и Crystal Ball. Однако, результаты MARK-I в настоящее время считаются ошибочными, а результат Crystal Ball не был опубликован в журналах, так что достоверных данных, включенных в PDG, нет.

В начале 2008 г. в рамках подготовки к измерению  $R$  в области высоких энергий было проведено изучение пучкового фона при энергии выше 4 ГэВ. В 2009 г. была выполнена первая стадия эксперимента: сканирование интервала энергий от 3,1 до 1,85 ГэВ для поиска узких резонансов. Мониторинг параметров пучка при сканировании обеспечивался системой измерения энергии и энергетического разброса пучка по обратному комптоновскому рассеянию (ОКР) лазерных фотонов. На рисунке 2 показана измеренная энергия пучка в процессе эксперимента по поиску узких резонансов. В начале эксперимента было проведено несколько прецизионных измерений энергии пучка методом резонансной деполляризации 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 рисунке 3 показана измеренная светимость в зависимости от энергии пучка в сравнении с расчетной кривой  $L_{\text{calc}} = L_{\text{max}} @ 1,55 \text{ GeV} \cdot (E/1,55 \text{ GeV})^4$ . При уменьшении энергии от исходной 1,55 ГэВ до 1,4 ГэВ светимость падала быстрее расчетной, на энергии 1,35 ГэВ был увеличен ток градиентных виглеров, что позволило частично скомпенсировать потери светимости. С помощью включения дипольной змейки ( $I = 1,35 \text{ кА}$ ), удлиняющей пучок (энергия пучка 1,3 ГэВ), удалось получить светимость в диапазоне энергии 1,3-1,1 ГэВ не хуже ожидаемой.

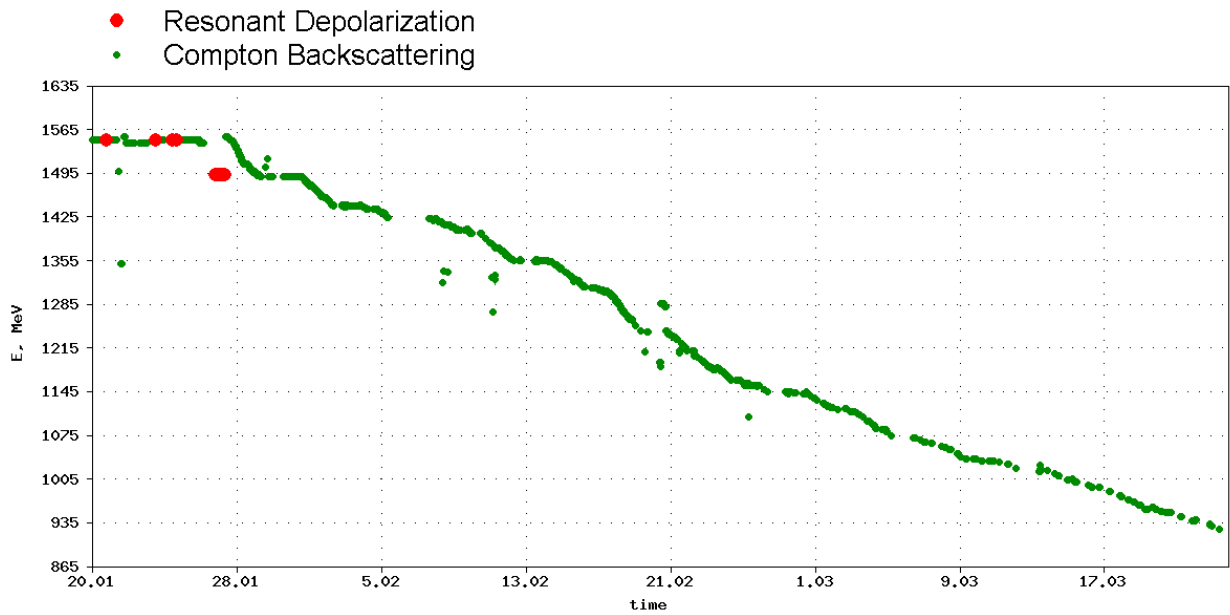


Рис. 2. Измерение энергии пучка ВЭПП-4М в процессе эксперимента по поиску узких резонансов.

Дальнейшее повышение тока дипольной змейки позволило уменьшить энергию пучка до 0,934 ГэВ со светимостью, немного ниже расчетной. На рисунке измеренная светимость сравнивается с результатами 1998 года, видно что при энергии 1,0 ГэВ достигнуто двукратное улучшение.

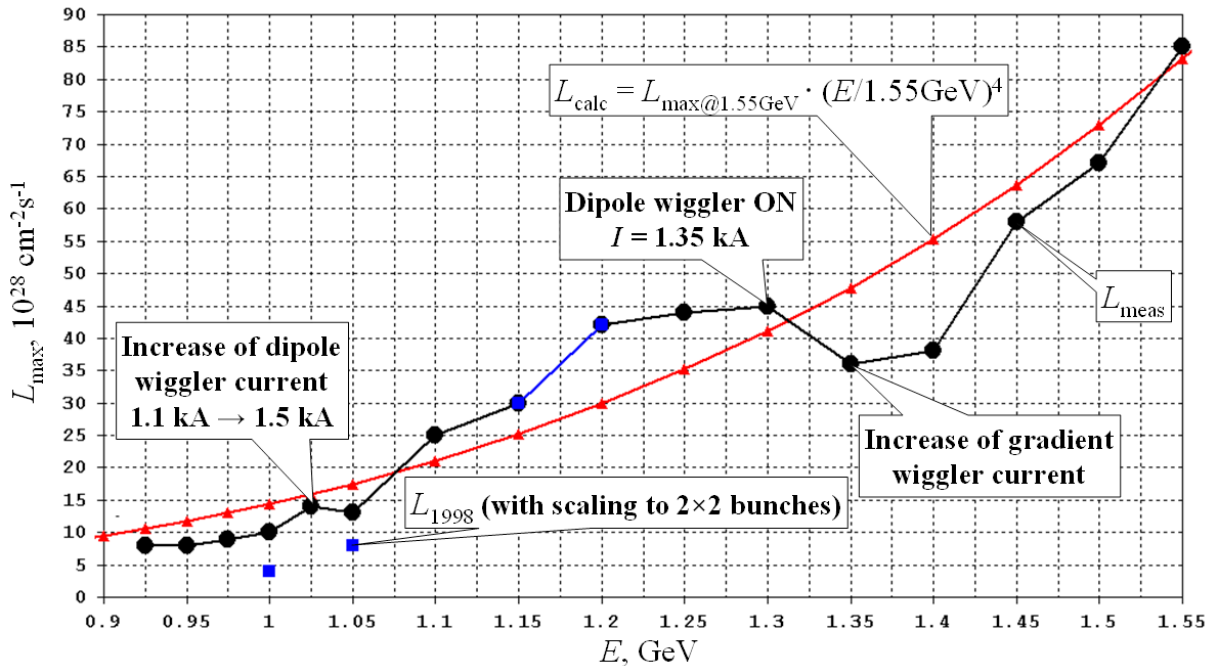


Рис. 3. Измеренная и расчетная светимость в зависимости от энергии пучка.

За весь эксперимент набран интеграл светимости около 300 обратных нанобарн. Сечение  $e^+e^-$  аннигиляции в адроны измерено примерно в тысяче точек по энергии. Статистически значимых резонансов в исследованной области энергий не обнаружено. Обработка данных продолжается. Ожидается, что верхний предел на электронную ширину узких резонансов составит 100-150 эВ.

### 5.2.3 Ядерная физика

Исследование электромагнитных формфакторов протона, важнейших характеристик этой частицы, позволяет глубже понять природу протона, также как и природу взаимодействия составляющих его кварков. Сравнительно недавно, с применением в эксперименте новых поляризационных методик, в лаборатории TJNAF, США, было обнаружено драматическое противоречие в результатах этих измерений со старыми измерениями, где формфакторы извлекались из анализа дифференциальных сечений. Как предполагают, наиболее вероятной причиной этих разногласий является неправомерность применения однофотонного приближения при интерпретации старых измерений. Учет поправок двухфотонного обмена, однако, наталкивается на трудности: с одной стороны, на отсутствие надежных, корректных расчетов, с другой стороны, на отсутствие достаточно точных экспериментальных данных. Поэтому для решения проблемы необходимы новые экспериментальные данные по вкладу двухфотонного обмена.

Вклад двухфотонного обмена может быть определен экспериментально сравнением сечений упругого рассеяния электронов и позитронов на протоне. Такой эксперимент проводился в 2009 году на установке «Дейтрон» (рис. 4). Пучок электронов или позитронов с энергией 1,6 ГэВ рассеивался на внутренней газовой мишени, которая представляет собой рекордную по интенсивности струю газа (дейтерия или водорода), вводимую непосредственно в вакуумную камеру накопителя ВЭПП-3.

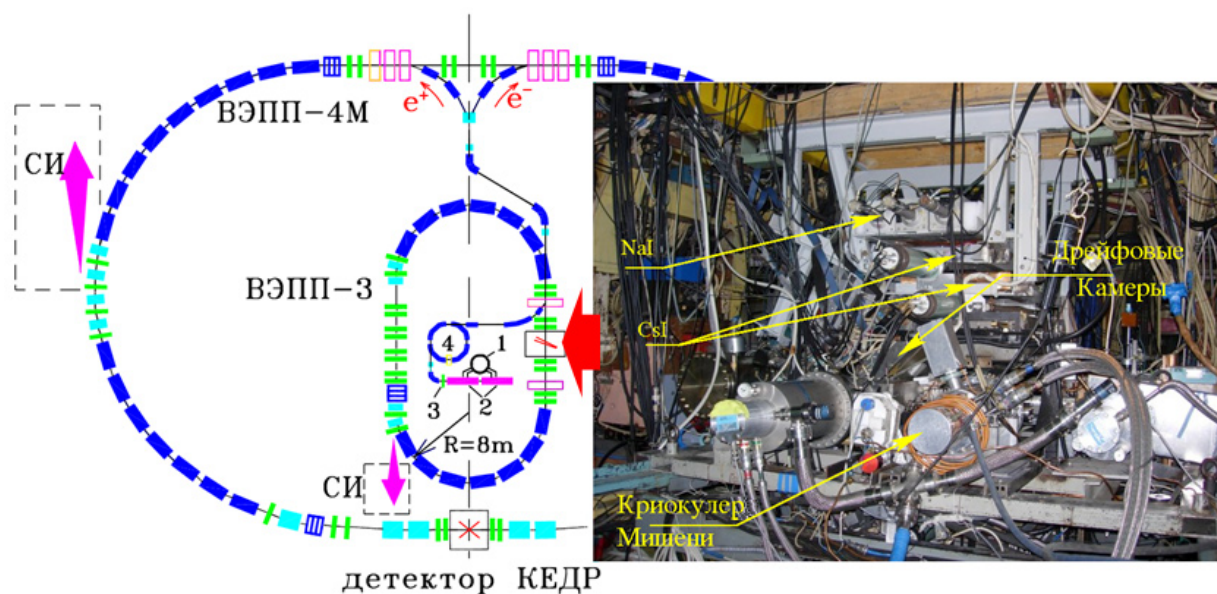


Рис. 4. Установка «Дейтрон».

Ранее был проведен цикл подготовительных работ, в том числе первый сеанс работы на накопителе ВЭПП-3 (2007 год). После этого были проведены работы по улучшению рабочих параметров установки, завершённые в первой половине 2009 года. Летом 2009 г. мишень и детектор были установлены на накопителе ВЭПП-3.

В это же время с электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-4М на накопитель ВЭПП-3 была перенесена установка для измерения энергии пучка электронов/позитронов методом обратного комптоновского рассеяния (ОКР). По условиям эксперимента максимальное отличие энергии электронов и позитронов не должно превышать 1 МэВ. Это условие является достаточно жестким, поскольку заходы на набор статистики с электронным и позитронным пучками проводятся поочередно, с циклом перемагничивания ВЭПП-3 и сменой полярности магнитной системы. На рис. 5 показаны результаты измерения энергии пучка электро-

нов/позитронов методом ОКР в процессе эксперимента на установке «Дейтрон». После проведения ряда работ по оптимизации режима накопителя ВЭПП-3 энергия пучков электронов и позитронов достаточно стабильно удерживалась в заданном диапазоне.

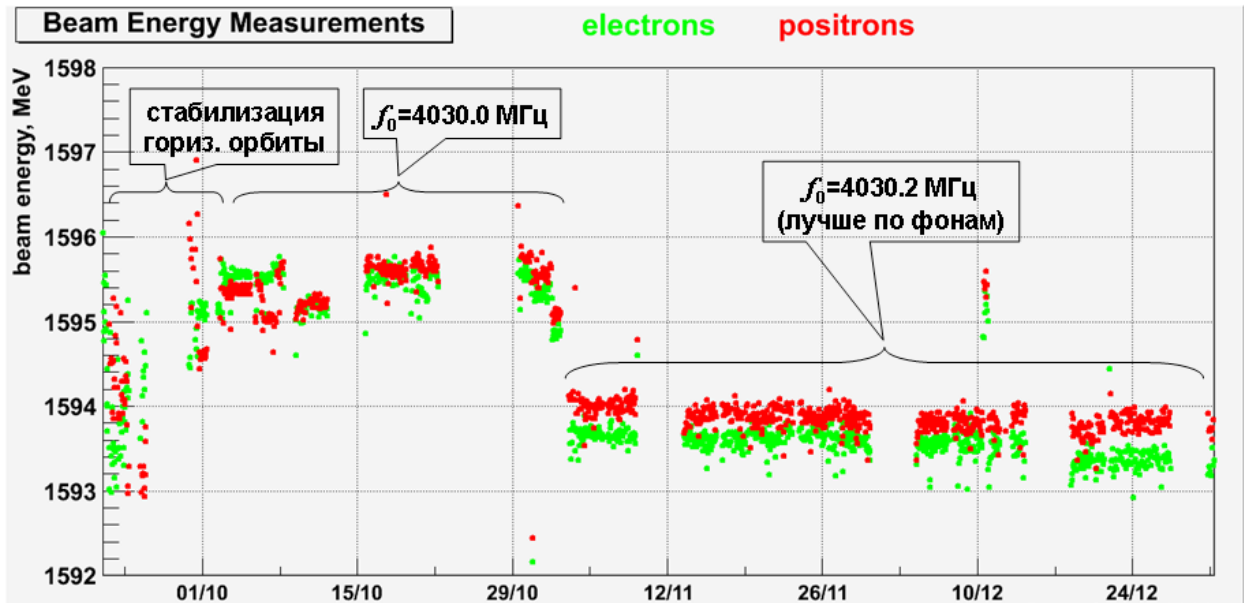


Рис. 5. Измерение энергии пучка электронов/позитронов в накопителе ВЭПП-3 методом ОКР в процессе эксперимента на установке «Дейтрон».

Эксперимент начался в сентябре 2009 г. с настройки различных режимов работы ВЭПП-3, отладки работы мишени и детектора частиц во взаимодействии с пучками накопителя, работ по снижению фонов и др. Набор статистики начался в конце сентября. Эффективность набора, определяемая как интеграл тока пучков электронов/позитронов при постоянной толщине мишени, равной примерно  $10^{15}$  атомов/см<sup>2</sup>, возрастала и достигла уровня 1 килокулон в сутки (рис. 6).

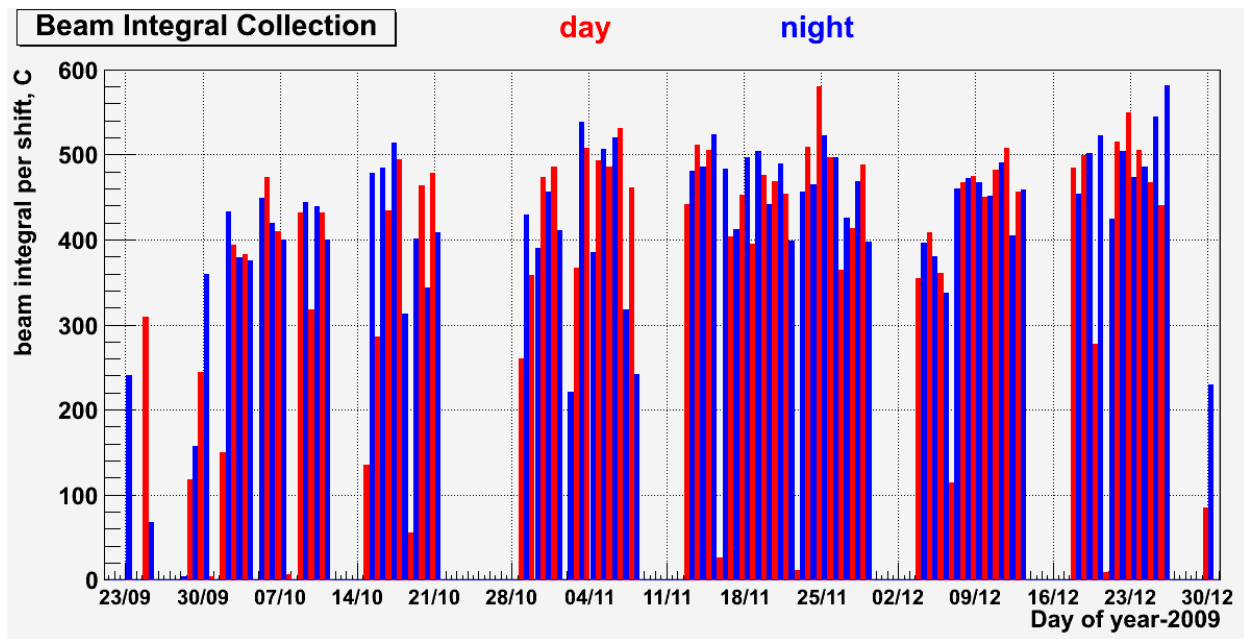


Рис. 6. Интеграл тока пучков электронов/позитронов ВЭПП-3 за смену (12 часов).

Для снижения систематических ошибок важно поддерживать одинаковые условия при работе с электронным и позитронным пучками. Набор данных с пучками электронов/по-

пучков регулярно чередуется. Положение пучков на орбите постоянно контролируется системой пикап-электродов, анализ данных детектора также дает информацию о положении пучков. Энергия пучков в процессе эксперимента непрерывно мониторировалась установкой ОКР.

На рисунке 7 показан пример графика тока пучков электронов и позитронов в течение одной смены (12 часов). Видно, что накопление позитронов требует гораздо большего времени, чем накопление электронов. Во время ускорения пучков с энергии инжекции 350 МэВ до энергии эксперимента 1600 МэВ ток несколько снижается; затем на время набора данных включается газовая мишень, и ток экспоненциально падает со временем жизни примерно 1000 секунд. Отметим, что без мишени время жизни пучков составляет примерно 30 тыс. секунд.

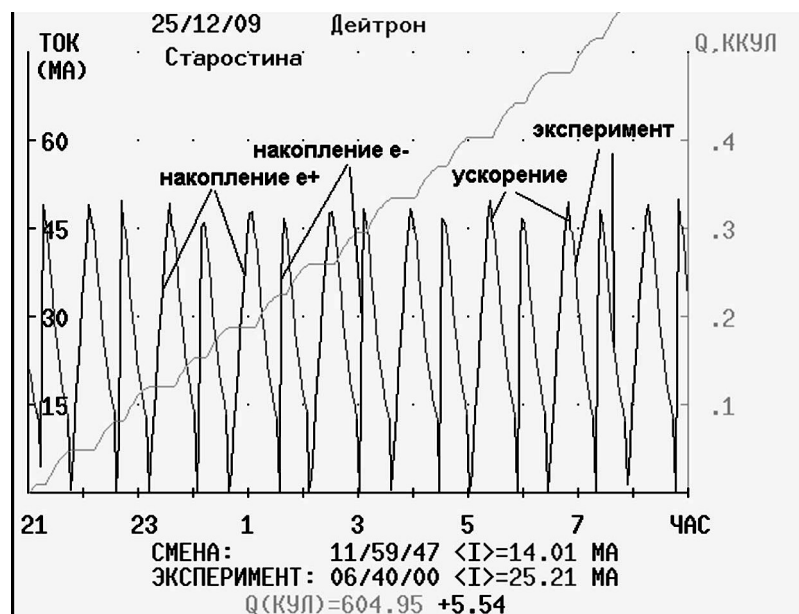


Рис. 7. Ток пучков электронов/позитронов ВЭПП-3 за смену (12 часов).

На рис. 8 приведен график набора интеграла тока пучков позитронов/электронов ВЭПП-3 в эксперименте на установке «Дейтрон». Перерывы набора статистики (горизонтальные участки графика) определяются в основном временем, выделенным для работы пользователей с пучками синхротронного излучения, выведенными из ВЭПП-3, а также профилактическими работами на мишени, детекторе и накопителе ВЭПП-3 и настройкой ускорителей.

За все время эксперимента с учетом КПД детектора набран интеграл тока 54,3 килокулона. Как и планировалось, набор данных был завершён к началу 2010 г., набранный за это время интеграл тока пучков составляет 90 % от предполагаемого и является вполне достаточным для обработки данных.

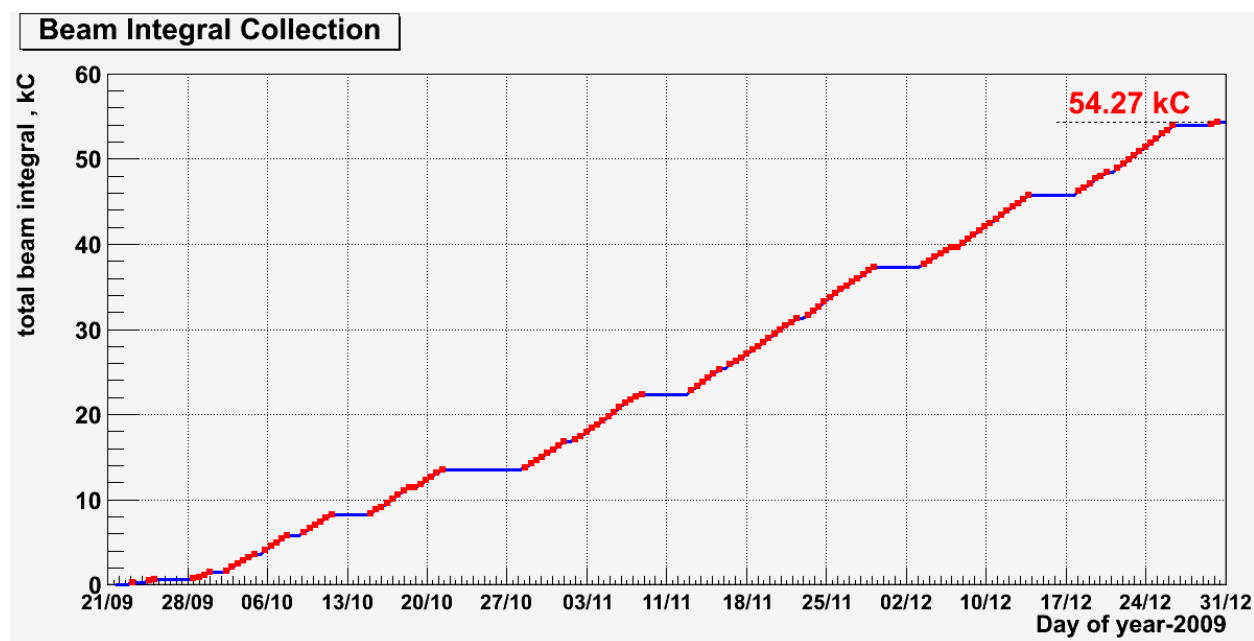


Рис. 8. Набор интеграла тока пучков в эксперименте на установке «Дейтрон».

#### 5.2.4 Селективный деполяризатор

Вновь разработанный селективный деполяризатор, установленный на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М, позволяет расширить возможности экспериментов с резонансной деполяризацией. С его помощью можно проводить выборочную деполяризацию одного из пары электронных или позитронных сгустков. Селективность раскачки пучка, то есть воздействие электромагнитного поля на один сгусток без влияния на другие, обеспечивается стробированием сигнала синтезатора. Строб запускается импульсом синхронизации, привязанным к частоте обращения пучка, и раскачка включается на время пролета выбранного сгустка через кикер, сформированный полосковыми линиями.

Поскольку рабочая полоса частот усилителя мощности ограничена снизу, то при простом стробировании синусоидального сигнала синтезатора «хвост» импульса раскачки может влиять на другой сгусток. Для того чтобы минимизировать это влияние формируется импульс раскачки специальной формы, не содержащий постоянной составляющей. Метод формирования сигнала иллюстрирует рис. 9. Синтезатор имеет два независимых канала формирования синусоидального сигнала. Сигналы каждого канала проходят через ключи на сумматор, формирующий выходной сигнал синтезатора. Схема управления ключами формирует сигналы замыкания ключей на время  $\tau$  в моменты времени  $t$  и  $t+\tau$ , привязанные к частоте обращения пучка. При этом в каналах 1 и 2 синтезатора управляющей программой задается сигнал установленной частоты  $F$  со сдвигом фазы между каналами, равным  $\Delta\varphi = 2\pi F\tau + \pi$ .

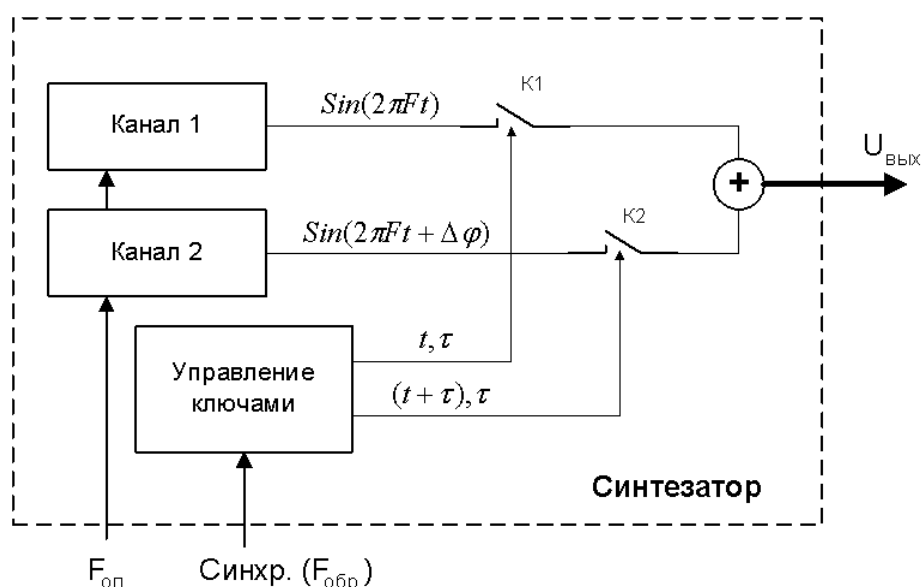


Рис. 9. Схема формирования сигнала на выходе синтезатора.

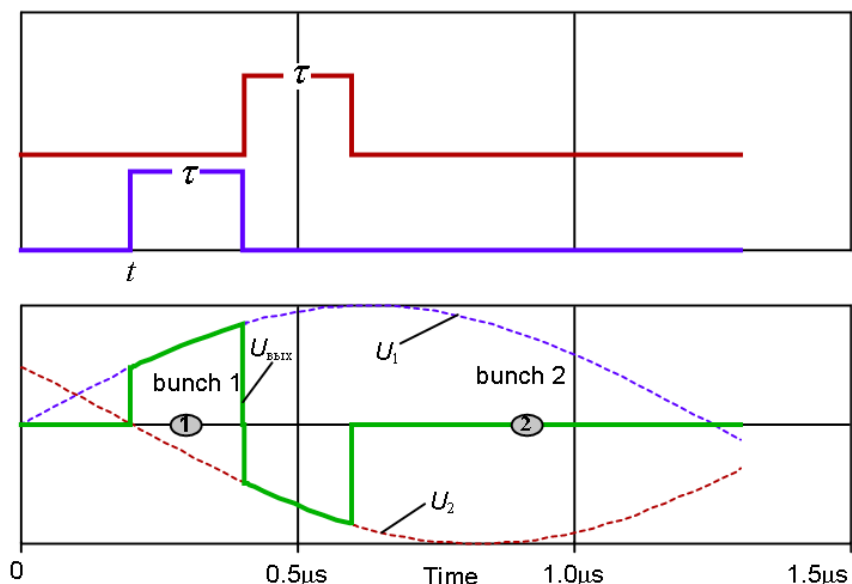


Рис. 10. Форма сигнала селективного деполаризатора.

Примерная форма сформированного сигнала приведена на рис. 10. В верхней части рисунка изображены два сигнала управления ключами K1 и K2. В нижней части – синусоидальные сигналы двух каналов синтезатора с частотой раскачки, равной примерно половине частоты обращения  $F_{обp}$  и необходимым сдвигом фаз, а также суммарный сигнал  $U_{вых}$ . Временная шкала соответствует одному периоду обращения пучка  $T_{обp} = 1,2$  мкс, показано положение двух сгустков частиц, следующих друг за другом с интервалом  $T_{обp}/2$ . Таким образом, сигнал раскачки  $U_{вых}$  воздействует на сгусток №1, а, поскольку сигнал не содержит постоянной составляющей вне зависимости от фазы исходных синусоидальных сигналов в момент времени  $t$ , влияние на пучок №2 минимально.

Проверка селективного деполаризатора проводилась путем сравнения скоростей счета тушековских частиц из двух электронных сгустков, на один из которых воздействовало поле деполаризатора с частотой бетатронного резонанса (рис. 11). Частота деполариза-

тора изменялась в заданном диапазоне со скоростью 18 Гц/сек. Амплитуда напряжения на пластинах кикера задавалась на уровне несколько десятков вольт. Сцинтилляционные счетчики в эксперименте не вдвигались в апертуру вакуумной камеры, их край оставался вблизи стенок камеры. При совпадении частоты деполяризатора с частотой вертикальных бетатронных колебаний размер пучка в вертикальном направлении увеличивался, что приводило к частичному уменьшению скорости счета. Скорость счета второго сгустка изменялась во времени монотонно, уменьшаясь из-за конечного времени жизни пучка, что подтверждает высокую степень селективности воздействия деполяризатора.

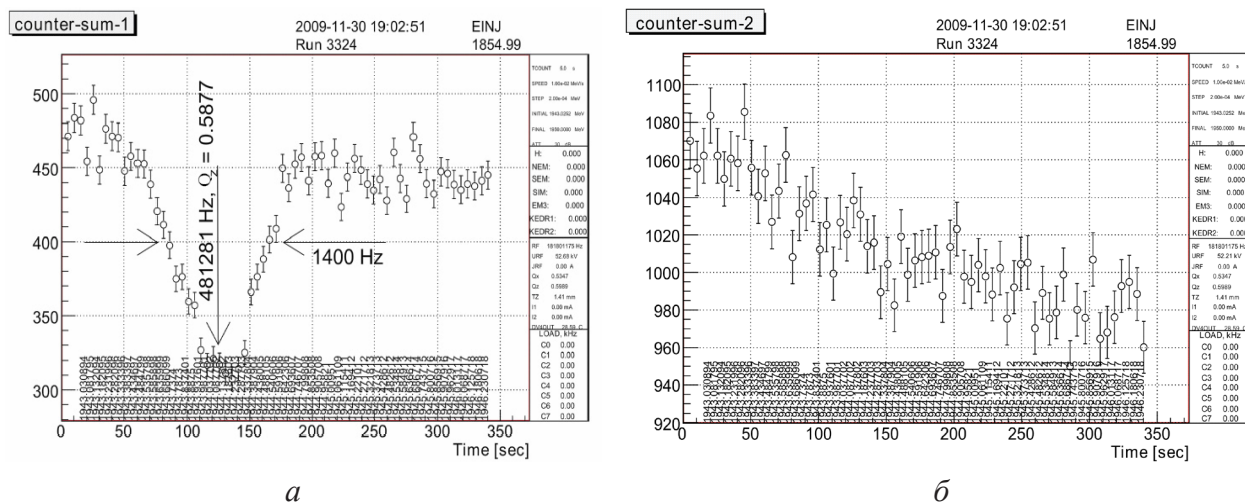


Рис. 11. Временная зависимость скорости счета (Гц) электронов, рассеянных из сгустков 1(а) и 2(б), при сканировании частоты селективного деполяризатора, действующего на сгусток 1.

Вследствие малой собственной ширины линии синтезатора частоты оказывается возможным, как это видно из рисунка, наблюдать распределение бетатронной частоты в сгустке по провалу в зависимости скорости счета от времени в соответствующей полосе частотного сканирования. Ширина полученного распределения на полувысоте составляет около  $10^{-3}$  в единицах частоты обращения (818,9 кГц). При известной величине эмиттанса пучка измеренная таким образом ширина распределения по бетатронной частоте дает возможность оценивать эффективную величину кубической нелинейности ведущего поля.

## 5.2.5 Новая оптическая диагностика пучка

Недостаточное временное разрешение системы электростатических датчиков положения пучка в ускорителе ВЭПП-4М не позволяет получить необходимую точность измерения орбиты в ситуации, когда в коллайдере циркулируют электронный и позитронный пучки одновременно. Между тем, при работе ВЭПП-4М на эксперименты по физике высоких энергий совместно с детектором КЕДР точные измерения орбиты пучков необходимы как для предотвращения колебаний энергии пучка за время в несколько часов, так и для обеспечения стабильной работы таких важных диагностических устройств, как монитор светимости и система измерения энергии по обратному комптоновскому рассеянию.

Для стабилизации орбиты электронного и позитронного пучков в поворотных магнитах NEM2, SEM2, ближайших к месту встречи, было предложено использовать оптическую методику, основанную на многоточечной камере-обскуре. Рентгеновская камера-обскура обладает такими же геометрическими свойствами, как и обычная камера-обскура для видимого света. Свет, проходя через достаточно малое отверстие, формирует перевернутое



изображение источника с коэффициентом трансформации, равным  $D/d$ , где  $d$  – расстояние от источника до экрана, а  $D$  – расстояние от экрана до регистрирующего устройства (ПЗС-матрицы). В настоящее время изготовлен один комплект диагностики и установлен на электронном направлении для регистрации СИ из магнита NEM1 (рис. 12).



Рис. 12. Рентгеновская многоточечная камера-обскура.

Если в металлическом экране сделать несколько отверстий, расположенных в линию на расстоянии около  $3\sigma_y$ , друг от друга ( $\sigma_y$  – поперечный размер пучка), то получим прибор, позволяющий одновременно измерять как поперечное положение, так и угол наклона пучка в точке излучения (perreg-pot monitor, от англ. “перечница”). Расстояние между крайними отверстиями должно быть около  $3d\psi$ , где  $\psi$  – угловая расходимость синхротронного излучения,  $d$  – расстояние от точки излучения до экрана. Угол наклона пучка в точке излучения возможно определить только в вертикальном направлении, по горизонтали мы можем контролировать только линейное смещение, но даже это имеет большое значение с точки зрения поддержания стабильности энергии пучка.

Принцип одновременного измерения поперечного смещения и угла наклона пучка иллюстрирует рис. 13. Если поперечное смещение и угол наклона пучка равны нулю, рентгеновское синхротронное излучение создает на металлическом экране изображение пучка, центр которого находится точно посередине между крайними отверстиями, и суперпозиция изображений, сформированных отверстиями, образует на люминофоре симметричную фигуру, как это показано на рис. 13а. Поперечное смещение пучка частиц без отклонения по углу приводит к сдвигу всех изображений на люминофоре, и, соответственно, их огибающей на  $y_1 = -yD/d$ , см. рис. 13б. При наклоне пучка на угол  $\phi$  без смещения в поперечной плоскости сдвигается только огибающая изображений пучка на  $y_2 = \phi d$ , поскольку сами изображения остаются на своих местах, а изменяется только их интенсивность (рис. 13в).

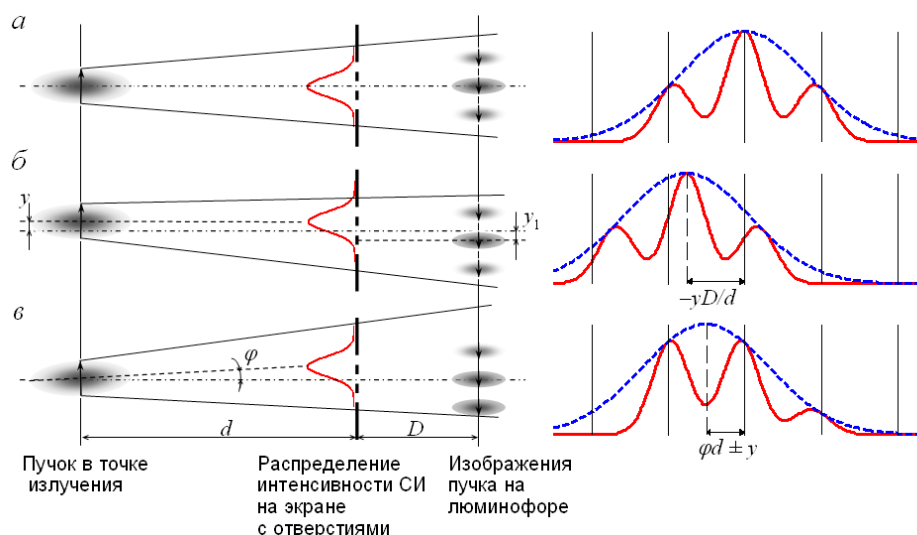


Рис. 13. Принцип измерения поперечной координаты и угла наклона пучка.

Таким образом, базовый алгоритм определения смещения пучка по координате и углу выглядит следующим образом:

1. измерение поперечного смещения  $y_1$  изображений пучка на люминофоре;
2. измерение смещения  $y_2$  их огибающей;
3. вычисление поперечного смещения пучка в точке излучения  $y = -y_1 d/D$ ;
4. вычисление угла наклона  $\varphi = (y_2 \pm y)/d$ , знак «+» соответствует случаю  $y_2 < y$ , знак «-» соответствует случаю  $y_2 > y$ .

Для построения изображения пучка камерой-обскурой используется мягкое рентгеновское излучение из поворотного магнита, выпускаемое наружу через бериллиевую фольгу. Спектральный состав излучения таков, что оно практически полностью поглощается в атмосфере на расстоянии около 1,5 м. В связи с этим, а также для предотвращения разрушения бериллиевой фольги, излучение проводится на люминофор из ZnS сквозь трубу, откачиваемую на форвакуум. Несколько изображений пучка, построенных обскурами на люминофоре, при помощи объектива переносятся на ПЗС-матрицу и считывается в компьютер. Одно из первых изображений, зарегистрированных ПЗС-матрицей, показано на рис. 14а, а огибающая изображений, вычисленная по измеренным данным – на рис. 14б.

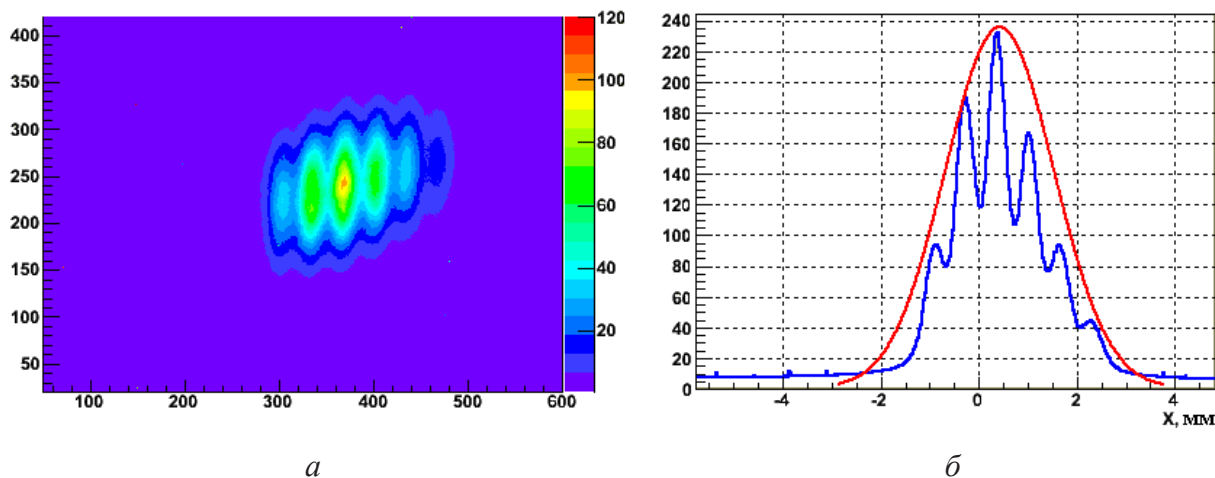


Рис. 14. Изображение пучка камеры-обскуры (а) и огибающая (б), восстановленная по результатам измерений.

Калибровка пространственного и углового разрешения камеры-обскуры

производилась с помощью системы измерения и коррекции орбиты пучка ВЭПП-4М. Для определения углового разрешения производилось контролируемое изменение угла наклона пучка с помощью корректора орбиты и одновременное измерение положения пучка двумя электростатическими пикапами, разнесенными по азимуту, и камерой-обскурой. Угол наклона пучка в вертикальной плоскости изменялся пропорционально току корректора и вычислялся по результатам измерений, проведенных пикапами и камерой-обскурой (рис. 15а). Измеренное угловое разрешение составляет около 2 мкрад в диапазоне угловых отклонений 50 мкрад. Превышение этой величины приводит к исчезновению одного из локальных максимумов, что является ограничением для программного обеспечения диагностики. Такой наклон пучка соответствует волне на орбите, неприемлемой при нормальной работе ускорителя.

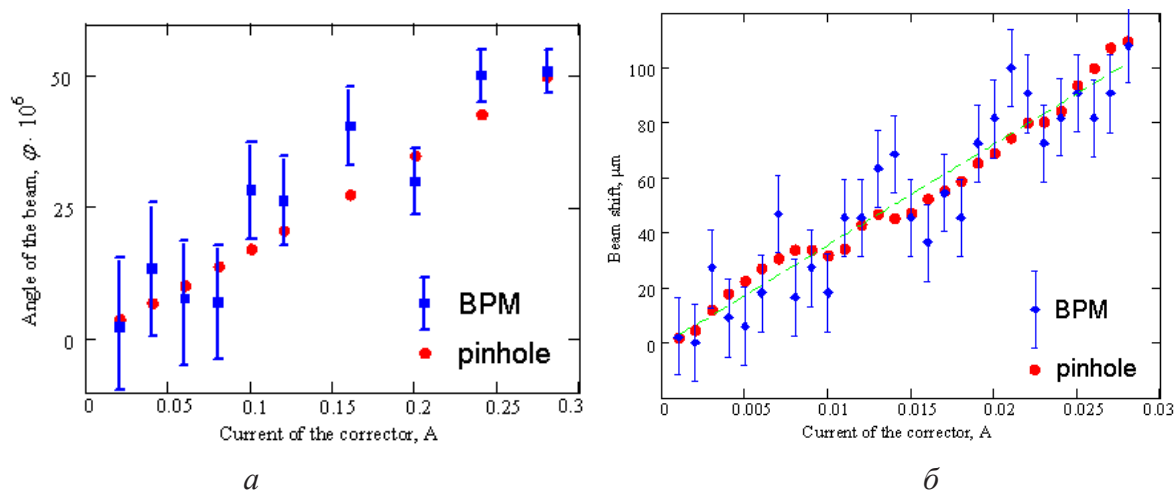


Рис. 15. Калибровка углового (а) и пространственного (б) разрешения камеры-обскуры.

Пространственное разрешение определялось путем создания вертикального бампа орбиты в месте излучения СИ с помощью тройки корректоров и параллельного измерения смещения пучка с помощью пикапов и камеры-обскуры (рис. 15б). Измеренное пространственное разрешение – около 1,5 мкм в диапазоне 100 мкм. При выходе за пределы 100 мкм, также как и при чрезмерном наклоне пучка, исчезает один из локальных максимумов. Очевидно, и угловой и пространственный диапазоны обскуры могут быть расширены путем простого увеличения числа отверстий, однако в этом случае ужесточаются требования к проекционной оптике.

Как видно, камера-обскура демонстрирует существенно лучшее пространственное и угловое разрешение по сравнению с электростатическими датчиками положения пучка, правда, в гораздо меньшем диапазоне. Это превосходство обскуры по отношению к пикапам связано, в частности, с ее существенно большей базой для измерения малых угловых смещений.

Пока мы не ставим своей задачей измерение вертикального и радиального размеров пучков в точке наблюдения, однако, теоретически, такая возможность существует.

### 5.3 Инжекционный комплекс ВЭПП-5

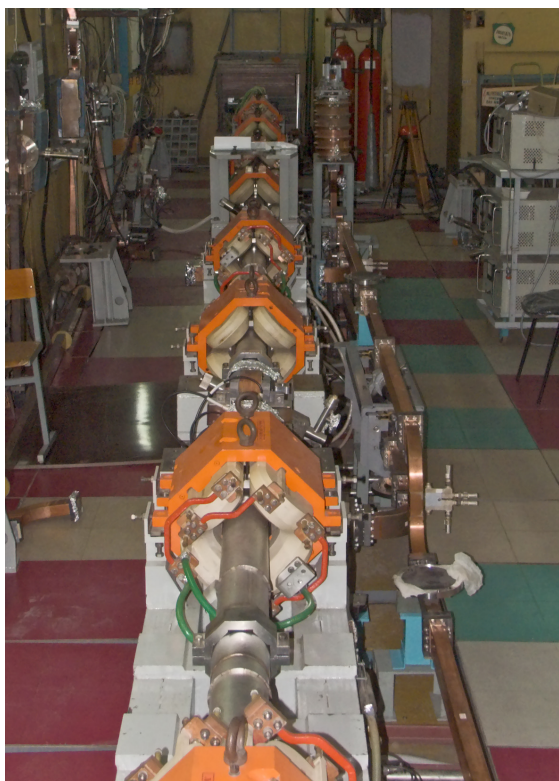


Рис. 1 Последние четыре секции позитронного линейного ускорителя.

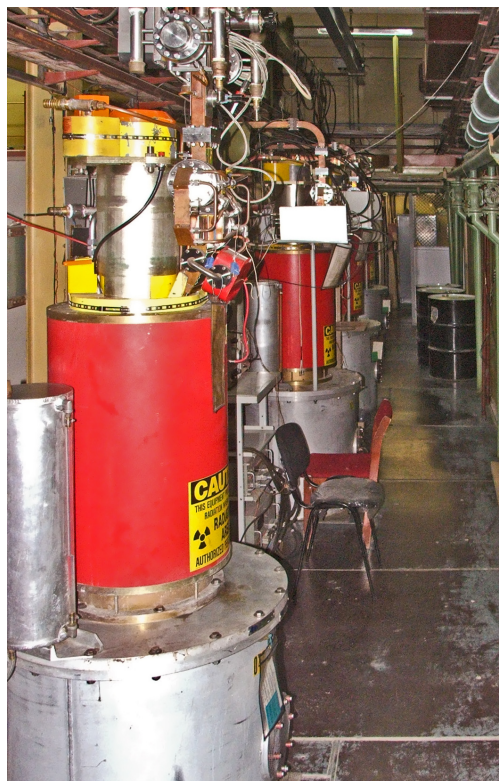


Рис. 2 Клисторная галерея.

#### Параметры накопителя-охладителя:

	Проектные	Достигнутые
Энергия	510 МэВ	380 МэВ
Частиц в пучке	$2 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{10}$
Частота инжекции	50 Гц	10 Гц
$U_{вч}$	700 кВ	230 кВ
$\sigma_s$	4 мм	8 мм

В 2009 году в накопителе-охладителе Инжекционного комплекса ВЭПП-5 был получен электронный пучок с параметрами, близкими к проектным. Энергия инжекции электронов в накопитель составила 380 МэВ. В кольце накопителя были включены все секступоли, квадрупольная коррекция, была подробно измерена его линейная и нелинейная электронная оптика, и на основе пучковых измерений построена точная электронно-оптическая модель. Благодаря тому, что удалось скомпенсировать хроматизм кольца, был получен предельный ток пучка в одногустковом режиме ( $I_b=35$  мА, соответствует проектному току).

Также в накопителе для электронного пучка низкой интенсивности были проведены измерения длины, эмиттанса и энергетического разброса на малом токе методом анализа огибающей когерентных бетатронных колебаний. Эти измерения хорошо согласуются с расчетными параметрами пучка (рис. 3).

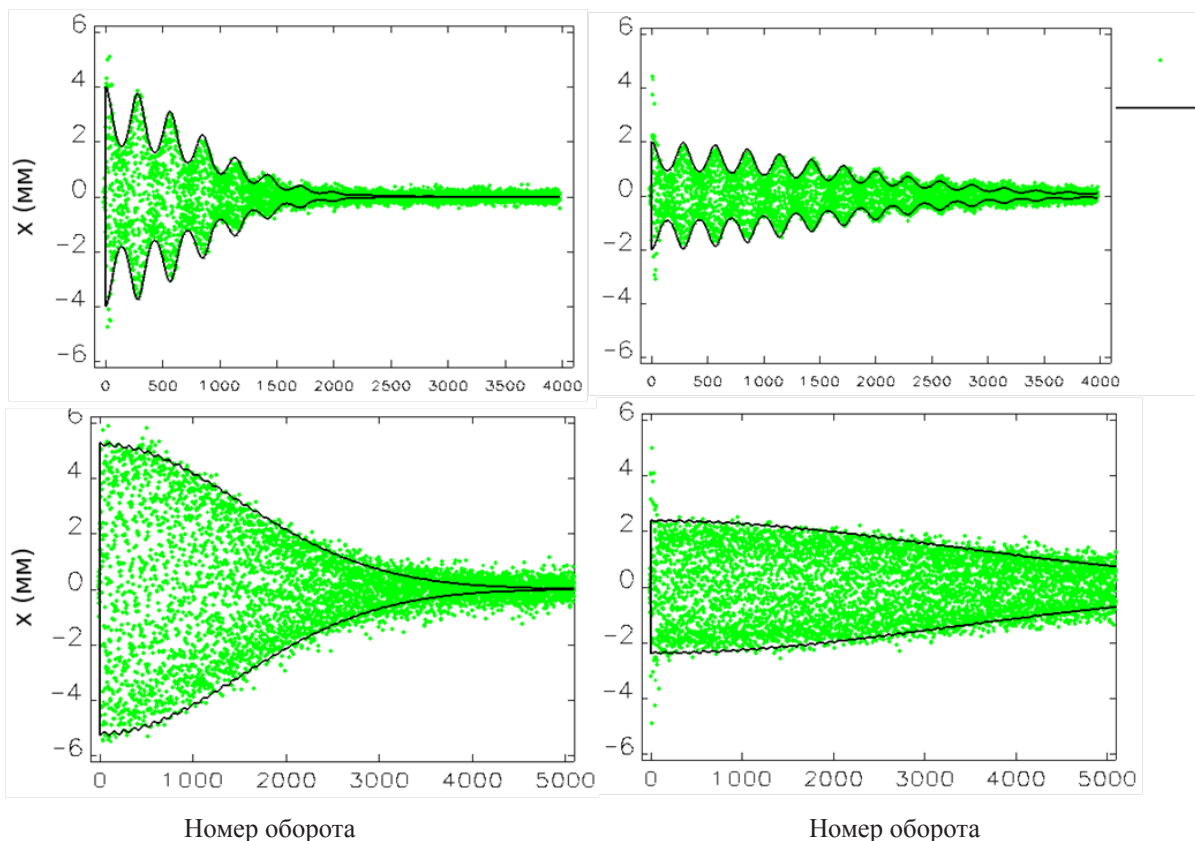


Рис. 3. Когерентные бетатронные колебания пучка в накопителе после удара инфлектора. Сплошной линией показана теоретическая кривая огибающей, точками обозначены пооборотные измерения датчика положения пучка. На двух верхних графиках показаны измерения для случая некомпенсированного хроматизма  $\xi = -6,0$  (все секступоли выключены). На двух нижних графиках хроматизм  $\xi = +2,8$  и частота синхротронных колебаний существенно выше чем на верхних графиках.

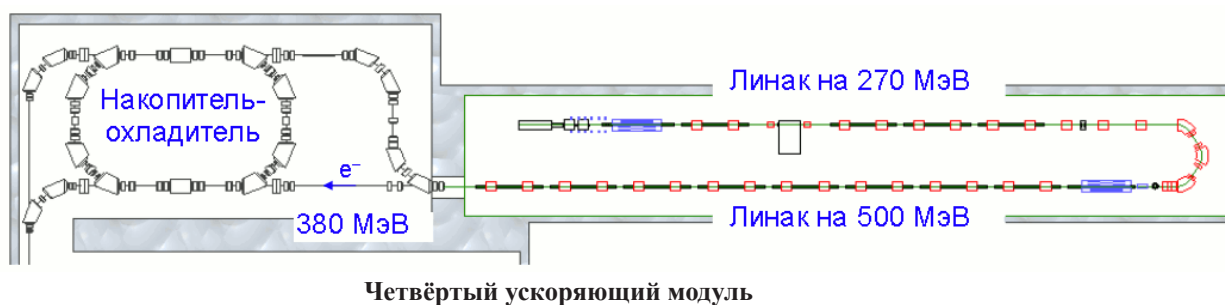


Рис. 4. Схема инжекционного комплекса ВЭПП-5.

В линейном ускорителе инжекционного комплекса были проведены измерения эмиттанса пучка, а также измерения параметров фокусирующей системы.

В конце года на позитронном линейном ускорителе были установлены и полностью подключены последние четыре секции, подключены источники питания. Также к концу года был получен четвертый клистрон для ВЧ-системы линейного ускорителя.

## 5.4 Разработки для высоковольтного электронного охлаждения

Новое поколение ускорителей для изучения ядерной физики в области энергий 1-8 ГэВ/н требует очень хорошего охлаждения для получения высокой светимости. Например, планируемый эксперимент PANDA для исследования мезонных резонансов требует плотности мишени  $4 \cdot 10^{15}$  атомов водорода на  $\text{см}^2$  и порядка  $10^{10}$  антипротонов в накопительном кольце HESR. В этом случае пиковая светимость достигнет значений  $2 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Разрешение эксперимента определяется только разбросом энергий в антипротонном пучке, которое должно быть лучше, чем  $10^{-4}$ . Оценки показывают, что для достижения таких параметров необходимо достигнуть времен охлаждения порядка 0,1-10 с, что сильно отличается от работающего в настоящее время охладителя на RECYCLER FNAL 4,34 МэВ, имеющего время охлаждения порядка 15 мин.

Накопитель COSY и планируемый антипротонный накопитель HESR позволят провести ряд экспериментов в направлении прецизионной спектроскопии. Однако для успешной их реализации необходимы охлаждённые ионные и антипротонные пучки с высокой фазовой плотностью. Реализуемый проект высокоэнергетичного охладителя для накопителя COSY позволит существенно увеличить его светимость за счёт использования пеллетовой мишени при одновременном уменьшении энергетического разброса в пучке.

Изготовление электронного охладителя на 2 МэВ приведет к созданию уникальной системы высоковольтного охлаждения. Совместно с использованием внутренней мишени высокой плотности данный метод обеспечит высокий выход полезных событий для уникальных реакций физики элементарных частиц. Научное и техническое развитие проекта связано с накоплением знаний для развития электронного охлаждения в области энергий протонного пучка с энергией несколько ГэВ и является важным шагом для использования прецизионных ионных пучков. Прогресс, достигнутый в данном проекте, существенен для построения электронного охладителя на 8 МэВ в накопительном кольце HESR, которое является важной частью будущего проекта FAIR (GSI).

На рисунке 1 показан проект электронного охладителя [357,358]. Он включает в себя высоковольтный бак с установленным внутри электростатическим ускорителем на 2 МэВ, транспортные каналы и секцию охлаждения. Основные параметры высоковольтного охладителя приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры установки электронного охлаждения на 2 МэВ.

Диапазон энергий	0,1 ... 2 МэВ
Стабильность высокого напряжения	$< 10^{-4}$
Электронный ток	0,1 ... 3 А
Размер электронного пучка	10 ... 30 мм
Длина секции охлаждения	2,69 м
Радиус тороида	1,00 м
Магнитное поле в секции охлаждения	0,5 ... 2 кГс
Вакуум в камере секции охлаждения	$10^{-9} \dots 10^{-10}$ мбар
Длина прямолинейного промежутка под секцию охлаждения	6,39 м
Максимальная высота	5,7 м
Расстояние от пола до траектории ионного пучка	1,8 м

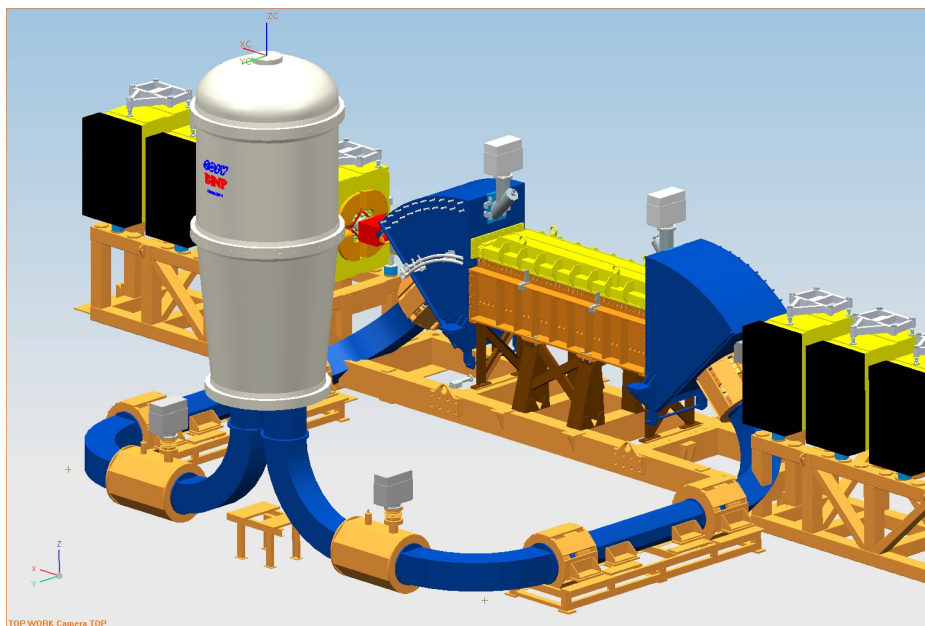


Рис. 1. 3D вид установки электронного охлаждения на 2 МэВ.

## 5.5 Работы по Ускорительному Масс Спектрометру

Ускорительная масс-спектрометрия (УМС) – современный, сверхчувствительный метод изотопного анализа вещества. Метод основан на поштучном подсчете интересующих атомов в образце вещества, поэтому вес образца не превышает 0,001 грамма. При этом УМС позволяет измерять процентное содержание редких изотопов в веществе при концентрациях  $10^{-12}$  и меньше.

УМС комплекс основан на электростатическом тандемном ускорителе [140]. Ускорение ионов образца до энергии несколько МэВ позволяет производить многоступенчатую селекцию ионов при прохождении электромагнитных полей, обдирать ионы до зарядности  $3+$ , разрушая фоновые молекулярные ионы близких масс, применять детекторы ядерной физики при окончательной идентификации изотопа [141,142].

Результаты работ за 2009 год:

- Получено стабильное напряжение 500 кВ на высоковольтном терминале электростатического тандема (на воздухе, без наполнения бака элегазом).
- Установлен распылительный источник отрицательных ионов с барабаном на 23 образца. Получен ток отрицательных ионов углерода – 5 мкА.
- Произведена проводка пучка через тракт УМС комплекса. Коэффициент прохождения ионов составляет 1% для  $C^{3+}$  и 13% для  $C^{2+}$  (520 кэВ  $C^-$  ионы обдираются в мишени на парах магния высоковольтного терминала электростатического тандема).
- Произведена регистрация изотопа углерода массы 14 а.е.м. (концентрация радиоизотопа в современном образце на уровне  $10^{-12}$ ) системой времяпролетных детекторов (рис. 2).
- Автоматизирован процесс анализа углеродного образца (барабан ионного источника с образцами прокручивается с заданным временным интервалом на новый образец, производится измерение тока ионов  $^{12}C$  и поштучный подсчет ионов  $^{14}C$ ). Статистическая ошибка поштучного подсчета радиоуглерода за приемлемое время составляет несколько процентов.
- Совместно с ЦКП «Геохронология кайнозоя» изготовлены образцы для УМС

из современного дерева с привязкой к годовым кольцам. Начаты их испытания, выявившие заметный разброс содержания углерода  $^{14}\text{C}$ , связанный как с ядерными испытаниями, так и с технологией изготовления образцов.

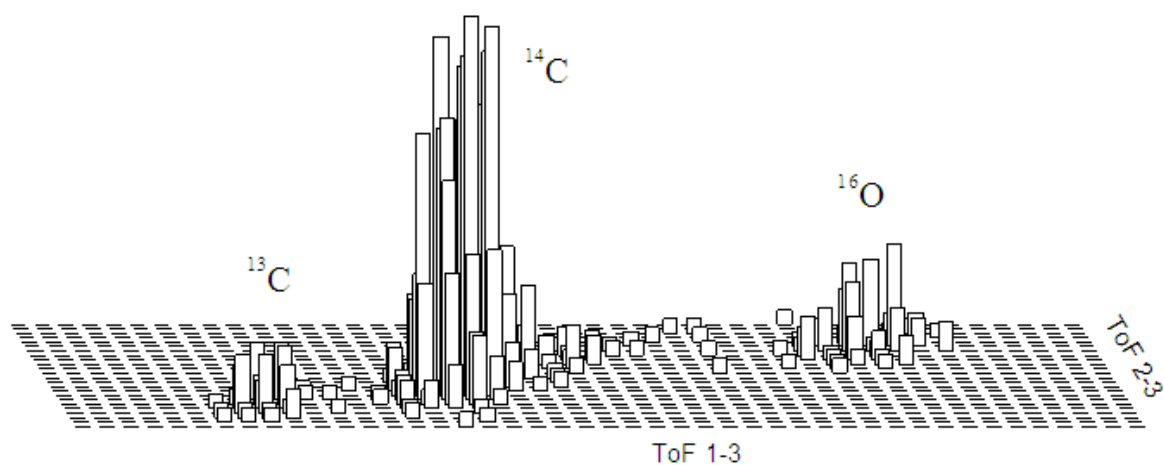


Рис. 2. Регистрация радиоуглерода в современном образце по двум времяпролетным промежуткам (массы, отличные от  $^{14}\text{C}$ , отсеиваются на много порядков при прохождении через тракт комплекса (УМС).

## 5.6 Вакуумные системы.

### 5.6.1 Тонкопленочные покрытия.

В Институте продолжают эксперименты по магнетронному напылению металлических покрытий и измерению их вакуумных и электрофизических свойств. С точки зрения вакуумных свойств, ожидается, что пленки из чистых металлов будут обладать значительно меньшей интенсивностью газовыделений без проведения прогрева и, тем самым, позволят значительно снизить мощность откачных систем больших электрофизических установок. На рисунке 1 показана динамика давления в трехметровой камере, покрытой пленкой алюминия чистотой 99,999%.

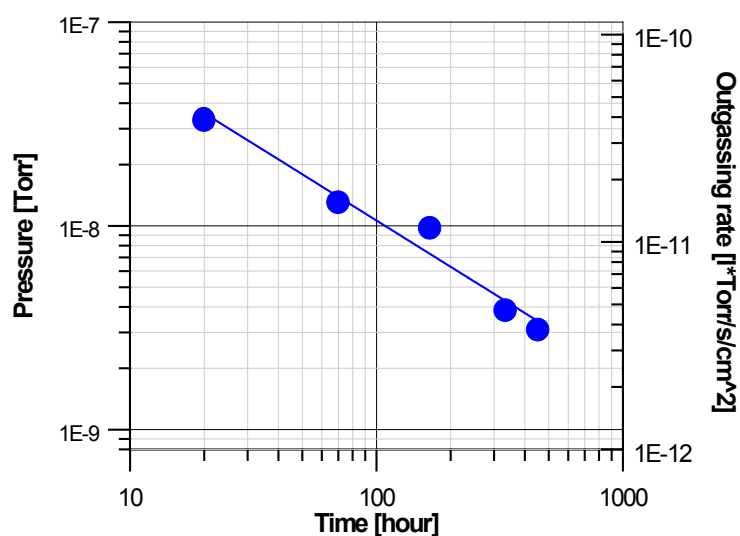


Рис. 1. Давление в трехметровой камере с Al покрытием.



Планируются эксперименты с покрытиями из меди и серебра как наиболее вероятными кандидатами для вакуумных камер XFEL (Гамбург, Германия).

### 5.6.2 Плоское фланцевое соединение.

В последнее время широкое распространение получили плоские фланцевые высоковакуумные разъемные соединения. Преимущества данного типа соединения очевидны: практически произвольный контур уплотнения и простота подготовки поверхности. Фирмой VAT уже производится несколько типоразмеров медных уплотнений для плоских фланцев. Однако заказ уплотнения нестандартной формы в единичных количествах требует времени и оказывается весьма дорогостоящим. Поэтому реализация основного преимущества плоского соединения - изготовление соединения с заданным контуром уплотнения, возможно только при наличии простой и надежной технологии изготовления металлического уплотнения.

В 2009 году в ИЯФ разработана технология изготовления металлического уплотнения произвольной формы, основанная на фотолитографии с последующим химическим травлением. Принцип действия данного типа уплотнения показан на рис. 2.

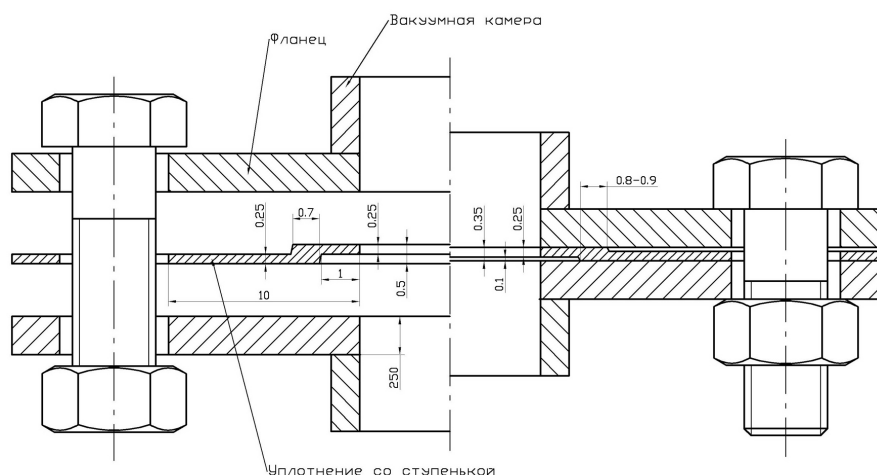


Рис. 2. Принцип действия плоского уплотнения со ступенькой.

Ступенька сминается, а металл тела уплотнения расширяется, обеспечивая хорошую герметичность во время прогрева и при термоциклировании.

Основные размеры тестового образца уплотнения показаны на рис. 3. Данные размеры выбраны не случайно. Это уплотнение планируется использовать под конкретное фланцевое соединение (устройство сжатия пучка, XFEL Гамбург), представляющее собой два гладких плоских фланца с внутренней апертурой прямоугольной формы с размерами 400\*40 мм.

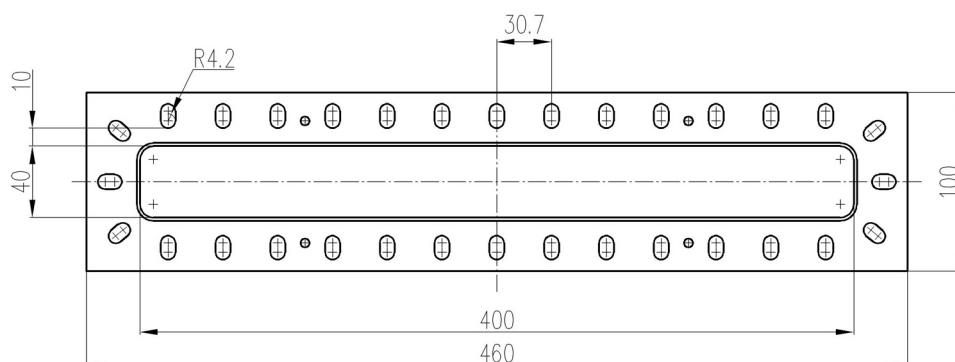


Рис. 3. Основные размеры тестового образца.

В качестве заготовки для уплотнения использовалась медная лента марки М0б шириной 100 мм и толщиной 0,5 мм. Основные этапы технологии изображены на рис. 4.

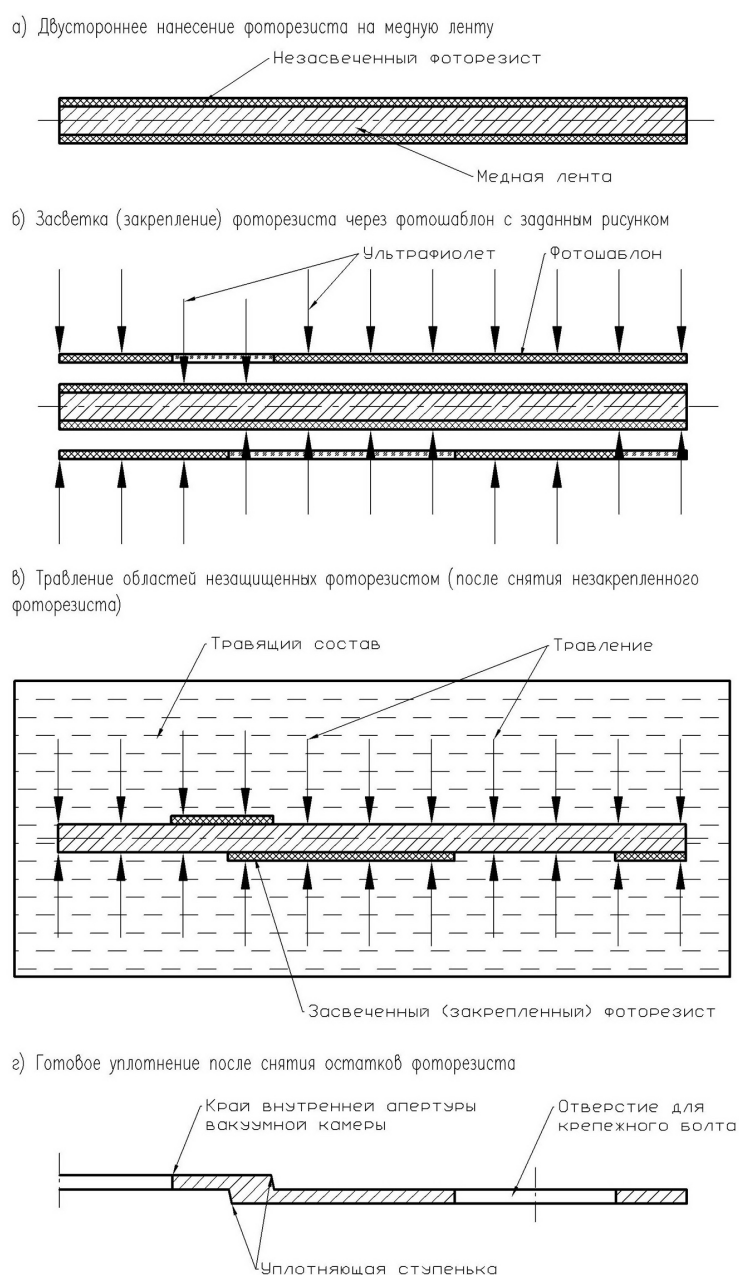


Рис. 4. Основные этапы изготовления плоского уплотнения с несимметричной ступенькой.

Использование медной ленты толщиной 0,5 мм для изготовления плоских уплотнений с несимметричной ступенькой оказалось очень удачным, поскольку для получения ступеньки высотой 0,25 мм требуется с каждой стороны стравить половину толщины ленты. При этом можно автоматически получить отверстие внутренней апертуры и отверстия под болты и штифты. То есть за одну операцию травления формируется окончательный вид уплотнения, которое после вакуумного отжига уже готово к применению. Однако медь в чистом виде при высоких температурах значительно окисляется в месте контакта с воздухом. Для предотвращения окисления поверхности уплотнения возможно нанесение серебра толщиной до 20 мкм гальваническим способом.

На данный момент всего было протестировано 2 типа уплотнения: медное и посеребренное. С целью определения минимального момента затяжки болтов последние ступен-

чато затягивались с шагом момента 5 Н\*м. С момента 10 Н\*м после каждого шага производилась проверка на течь по гелию с помощью масс-спектрометра. В результате герметизация соединения происходила уже при моменте затягивания 10 Н\*м, при этом уровень сигнала тока гелия составил  $I_{He} = 10^{-12}$  А. Далее для более надежной герметизации болты затягивались до момента 15 Н\*м, при котором производились все дальнейшие испытания.

Следует отметить, что в ходе испытаний к фланцевому соединению не прилагалось никаких значительных усилий, хотя в реальных условиях соединение может быть подвержено некоторым усилиям на разрыв и на сдвиг. Имитация реальных условий работы не производилось. В связи с этим для компенсации внешних воздействий рекомендуется повысить момент затяжки до 20 – 25 Н\*м.

Медное уплотнение без покрытия прогревалось максимум до 275 °С, а посеребренное – максимум до 350 °С. Для каждого уплотнения было проведено 9 циклов прогрев-остывание: нагрев со средней скоростью 75 °С/час, выдержка 10 минут, остывание со скоростью 55 °С/час. Также для каждого уплотнения был проведен 24 часовой прогрев при максимальной температуре. На протяжении всех тестов по измерениям масс-спектрометра ток гелия не превышал  $I_{He} < 10^{-12}$  А (натекание  $< 10^{-10}$  л\*Торр/с).

Основные преимущества данной технологии при изготовлении медного уплотнения со ступенькой:

1. Возможность формирования готового уплотнения за одну технологическую операцию в случае плоских уплотнений малой толщины (не более 0,5 мм) с несимметричной ступенькой;
2. Удобство и экономичность на стадии разработки конструкции уплотнения, поскольку изменение конструкции требует замены только фотошаблона, изготовить который значительно проще, чем, например, новый штамп в случае изготовления уплотнения методом штамповки.
3. Возможность изготовления уплотнений с любой формой внутренней апертуры.
4. Сохранение гладкости соединяемых камер практически произвольного сечения без применения дополнительных элементов (например, RF контакты).
5. Возможность изготовления уплотнений с очень малым соотношением площади поверхности герметизации к общей площади уплотнения, когда в случае метода штамповки потребуются чрезмерные усилия для формирования уплотняющей ступеньки.

### 5.6.3 Высоковакуумное оптическое окно инфракрасного диапазона.

Для измерения энергии пучка методом обратного комптоновского рассеяния луча CO<sub>2</sub> лазера на релятивистских частицах в ускорительных комплексах ВЭПП-4, ВЕРС-II (ИИФ, Beijing) в ИЯФ изготовлено вакуумное оборудование. Основная часть оборудования - это вакуумная камера с медным зеркалом, покрытым слоем золота толщиной 0,3 мкм, и окно для ввода/вывода синхротронного и лазерного излучения. Медное зеркало имеет регулировку по всем направлениям и водяное охлаждение. Окно должно пропускать лазерное излучение с длиной волны  $\lambda=10,6$  мкм и синхротронное излучение (СИ) в диапазоне приема видеокамеры (0,4-1 мкм). Вывод СИ необходим для настройки ввода лазерного излучения.

Для изготовления окна ввода/вывода синхротронного и лазерного излучения была разработана в течение 2008-2009 гг. технология пайки оптического монокристалла GaAs к титановому кольцу свинцовым припоем. Конструкция окна представляет собой стандартный фланец DN63, типа Conflat из 304L стали и кристаллическую пластину GaAs диаметром 50,8 мм и толщиной 3 мм, припаянную через систему переходных колец к фланцу (рис. 5). Окна прошли многократные испытания. Спектр остаточного газа приведен на рисунке 6. Спектр пропускания окна приведен на рисунке 7. По предложенной технологии можно

изготовить высоковакуумное окно из других кристаллов. Конструкция окна обеспечивает возможность прогрева вакуумной камеры до  $250^{\circ}\text{C}$  и позволяет получить высокий вакуум в установке.

Оборудование успешно установлено на ускорительные комплексы ВЭПП-4 и ВЕРС-II. Давление в вакуумной камере установки для измерения на комплексе около  $P=1 \times 10^{-10}$  Торр.

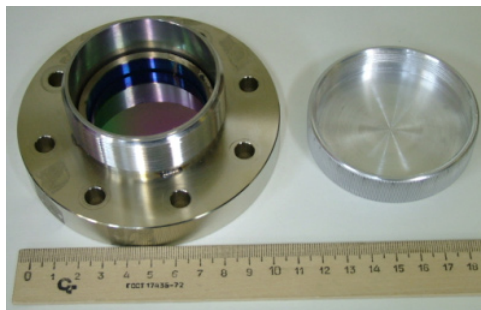


Рис. 5. Конструкция высоковакуумного окна из GaAs.

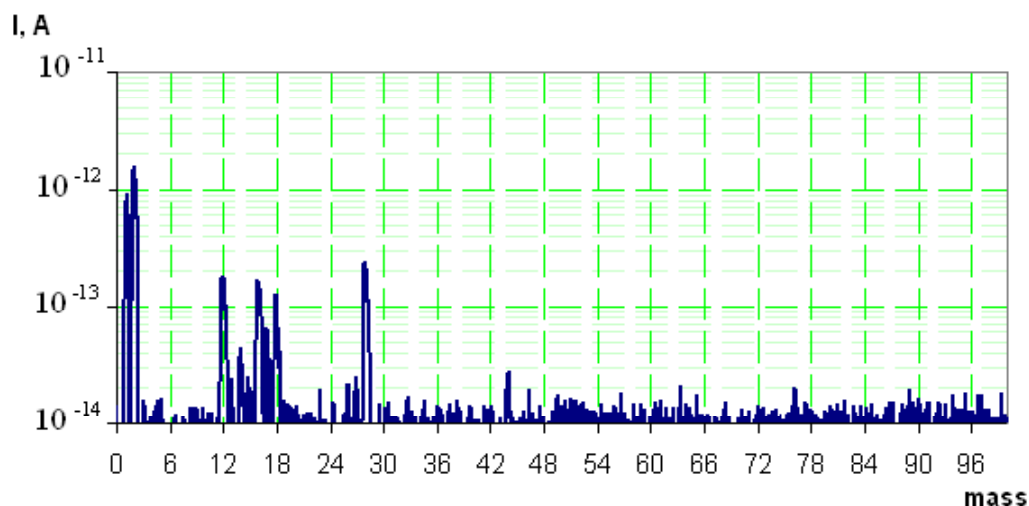


Рис. 6. Спектр остаточного газа в вакуумной камере с окном GaAs после проведения испытаний.

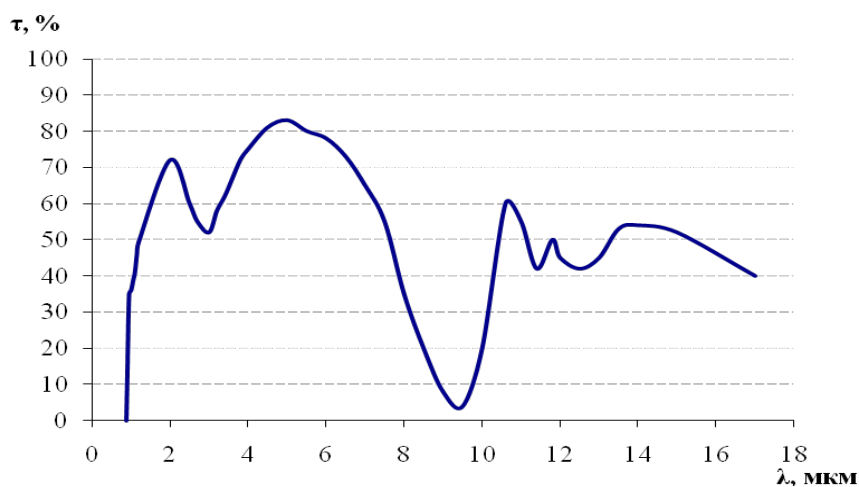


Рис. 7. Спектр пропускания GaAs, защищенного объемной пленкой  $\text{SiO}_2$ , толщиной 0,6 мкм.

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.

## **5.7 Работы по электрон-позитронным фабрикам и физике пучков**

В 2009 году все работы велись в плане исследований по созданию и по улучшению достижимых параметров электрон-позитронных фабрик.

Выполнено две работы по изучению возможности подавления эффектов встречи в машинах с использованием краб-пересечения и краб-перетяжки. Оказалось, что при столкновениях сгустков с малым параметром разрушения возможна такая комбинация вставок с краб-пересечением и краб-перетяжкой, которая компенсирует все синхро-бетатронные резонансы встречных сгустков и резонансы связи из-за пересечения сгустков под углом. В такой схеме не только значения геометрической светимости, но и неустойчивости встречных сгустков аналогичны тем, что реализуются при их лобовых столкновениях.

В пучках с значительным перекрытием синхро-бетатронных мод однооборотные неустойчивости поперечных когерентных колебаний приобретают характер неустойчивости прерывания пучка. Инкременты таких неустойчивостей уменьшаются со временем, что может облегчить их демпфирование. Изучение влияния запоминания наведенных пучком полей позволило установить, что, хотя запоминание и приводит к появлению в задаче спектра собственных решений, отсутствие в нем лидирующих мод, а также существование существенно особых точек в соответствующих дисперсионных уравнениях выражается в таких зависимостях амплитуд когерентных колебаний от времени, которые присущи эффекту прерывания пучка. В результате, в такой асимптотической области все поперечные моды могут быть полностью подавлены, например, системой широкополосной обратной связи. Такая особенность существует как для колебаний одного сгустка, так и для пучка, составленного из цепочки одинаковых сгустков, оканчивающейся протяженным зазором.

## **5.8 Импульсный магнит для позитронного источника Super-B фабрики КЕК**

В течение 2009 года в рамках сотрудничества между КЕК (Япония) и ИЯФ по модернизации существующего позитронного источника КЕК В-фабрики проводились ресурсные испытания импульсного согласующего магнита и источника питания к нему (рис. 1).

Основными целями проведения данных испытаний было достижения проектной величины поля спирального концентратора потока 100 кГс с частотой повторения импульсов 50 Гц и проведения ресурсных испытаний магнита и источника питания.

В течение первой половины 2009 года была успешно проведена тренировка импульсного магнита и постепенно достигнуто проектное поле с требуемой частотой повторения. Тренировка проводилась в несколько этапов. На каждом следующем этапе магнитное поле плавно повышалось, а частота повторения импульсов с целью уменьшения риска пробоя соответственно снижалась до значения 1-2 Гц. При плавном достижении частоты повторения импульсов 50 Гц магнитное поле снова повышалось.

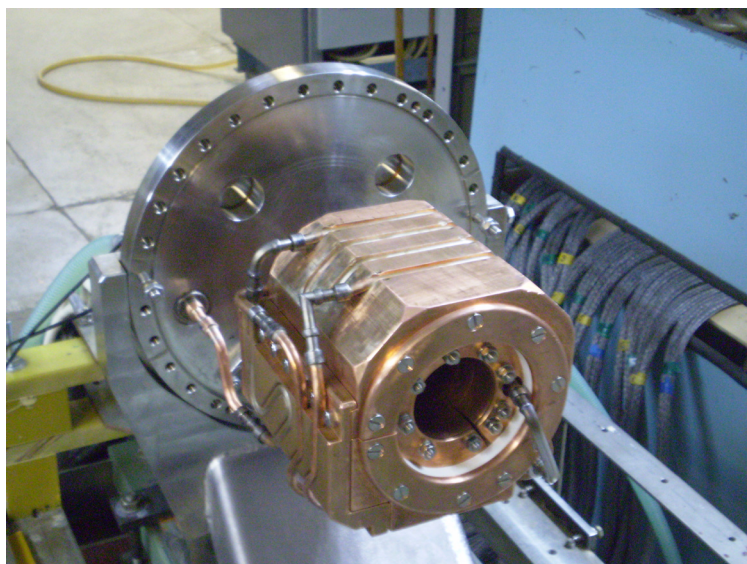


Рис. 1. Импульсный согласующий магнит внутри вакуумной камеры (крышка вакуумной камеры снята).

Во второй половине 2009 года было проведено ресурсное испытание магнита и импульсного генератора. Основной задачей данного испытания являлось определение максимального количества импульсов, которые может выдержать данная конструкция импульсного магнита без видимых изменений и повреждений. Дело в том, что импульсный конверсионный магнит на реальной позитронной установке в течение года с частотой повторения 50 Гц набирает порядка  $10^9$  импульсов. Поэтому для положительного ответа на вопрос о времени жизни конструкции магнита требуется набрать 20-25 миллионов импульсов при частоте повторения, наиболее близкой к эксплуатационной.

В ходе ресурсных испытаний обнаружилась недоработка источника питания импульсного магнита. Дроссель зарядного контура, а также дроссель намагничивания подвергались значительному перегреву, что делало невозможным проведение испытания импульсного магнита при номинальных параметрах 100 кГс и 50 Гц дольше чем 1 час. В результате было принято решение снизить частоту повторения до 25 Гц.

В течение ноября импульсный магнит набрал около 22 миллионов импульсов с частотой повторения 25 Гц. После этого магнит был демонтирован из вакуумной камеры, и были проведены измерения магнитных полей. Значительного изменения распределения магнитного поля до и после ресурсного испытания не обнаружено.

После проведения ресурсных испытаний начаты работы по доработке источника питания импульсного магнита.

## 5.9 Электронно-лучевые источники многозарядных ионов

В ИЯФ разрабатываются и реализуются электронно-лучевые источники многозарядных ионов, в которых обеспечивается высокая плотность электронного пучка в области ионизации – ионной ловушке:  $\geq 10^3$  А/см<sup>2</sup>. Данные ионные источники обеспечивают получение многозарядных ионов различных элементов, как газообразных, так и твердых. В этих источниках успешно реализован метод импульсного дозированного напуска атомов твердых элементов в ионную ловушку.

Ионные источники такого типа могут быть использованы для тяжелоионных ускорителей

тельных комплексов, для исследований в области низкоэнергетических взаимодействий и для различных прикладных целей; для создания сверхтонких наноструктур в области нанотехнологий; при создании высокоточных анализаторов, в том числе для медицинских целей. Ионные источники  $C^{4+}$  могут быть использованы в ускорительных терапевтических комплексах при лечении онкологических заболеваний.

При условии получения расчетного сверхвысокого вакуума  $\sim 5 \cdot 10^{-12}$  Торр в области ионной ловушки параметры этой установки позволят получать многозарядные ионы всех элементов, в том числе ядра ниобия, цезия, бария, хлора, фтора и многозарядные ионы йода.

В настоящее время разработан и изготовлен электронно-лучевой ионный источник MIS-1 (рис. 2), фокусирующая магнитная система которого создана на основе сверхпроводящего соленоида с замкнутым магнитопроводом. Она обеспечивает однородное магнитное поле 3 Т в дрейфовой структуре на длине 700 мм. Расчетная компрессия электронного пучка не менее  $10^3$ , что обеспечит его плотность в зоне ионизации  $2 \cdot 10^3$  А/см<sup>2</sup> при токе электронного пучка 20 А. Емкость ионной ловушки -  $\sim 10^{12}$ . Для получения такой компрессии электронного пучка применяется двухступенчатая компрессия.



Рис. 2. Источник MIS-1 (слева) и его дрейфовая камера (справа).

ЭОС MIS-1 рассчитана на получение электронного пучка 20 А при энергии 50 кэВ и создана на основе короткофокусной электронной пушки, сферический импрегнированный катод которой имеет диаметр 34 мм, а радиус кривизны 21,5 мм. Специальная структура и конструкция фокусирующей магнитной системы MIS-1, согласованная с электронно-оптической системой (ЭОС), обеспечивает основное условие - ламинарность интенсивного электронного пучка на всей длине ЭОС, постоянство магнитного потока, проходящего через поперечное сечение электронного пучка от катода до коллектора.

Фокусирующая сверхпроводящая магнитная система ионного источника MIS-1 имеет вертикальную конструкцию и состоит из сверхпроводящего соленоида длиной 1 м, разме-

щенного в криостате, наружного магнитопровода, двух электромагнитных линз, расположенных в области электронной пушки и коллектора электронов. Обмотка сверхпроводящего соленоида секционирована для того, чтобы обеспечить однородное фокусирующее поле 3 Т на максимально возможной длине дрейфовой структуры. В центральной части верхнего и нижнего полюсов магнитопровода расположены магнитные диафрагмы специальной формы, которые совместно с электромагнитными линзами обеспечивают необходимое распределение магнитных полей в области электронной пушки и электронного коллектора.

В основу системы управления положен принцип полного управления всеми системами питания и контроль всех параметров с центральной управляющей машины. Система создана на основе блоков аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей (САС208), генераторов задержанных импульсов CGVI8, разработанных и изготовленных в ИЯФ, с интерфейсом CANBUS. Анализ спектра многозарядных ионов, полученных при работе установки MIS-1, будет производиться электромагнитным масс-спектрометром при помощи блоков CANIPP с интерфейсом CANBUS. Связь управляющей машины с установкой осуществляется через внешний шлюз CAN-Ethernet. Оператор имеет возможность управлять всеми параметрами установки MIS-1 и контролировать их. При этом период работы установки может регулироваться от 100 мс до 20 с, длительность рабочих импульсов с электронным пучком от 100 мкс до 2 с и более.

В 2009 г. был проведен значительный объем работ по монтажу и наладке систем установки MIS-1.

- Доработана и испытана фокусирующая магнитная система MIS-1. После «тренировки» сверхпроводящего соленоида было получено максимальное рабочее поле 3 Т. Для полей внутри соленоида 1 Т, 2 Т и 3 Т было измерено распределение магнитного поля на оси магнитной системы. Измерения показали хорошее совпадение экспериментальных результатов с расчетными.
- С учетом необходимых доработок ведется сборка дрейфовой структуры и остальных технологических узлов MIS-1.
- Ведутся пуско-наладочные работы на системе питания и управления.
- Разработаны основные функциональные системы питания и управления электронно-лучевого источника многозарядных ионов MIS-1.
- Разработаны и изготовлены блок питания электронной пушки, анодный модулятор, обеспечивающий надежное включение и выключение электронного пучка с током до 20 А, импульсный модулятор для юстировки электронно-оптической системы ЭОС MIS-1, управляемый высоковольтный выпрямитель мощностью 100 кВт на напряжение от 1 до 9 кВ.
- Проводится необходимая доработка системы питания, контроля и управления дрейфовой структуры MIS-1. Изготовлена система импульсного дозированного напуска атомов твердых элементов в ионную ловушку дрейфовой структуры.

## 5.10 Работы по системам впуска-выпуска

В 2009 году на системе впуска в ВЭПП-2000 работа велась в обычном поддерживающем порядке. Был реализован «режим с тренировкой», при котором генератор регулярно работает напрямую на нагрузку, минуя пластины. Когда требуется отклонить пучок, коммутаторами и синхронизацией выставляются нужный режим, при котором пучок нормально отклоняется. Это позволило избежать ситуаций, когда при большом перерыве между срабатываниями тиратроны едва меняли свою температуру, что приводило к срабатыванию в другое время, и пучок терялся.

На комплексе ВЭПП-5 проводились профилактические включения, проверялись и ис-



правлялись неполадки в высоковольтных оконечных нагрузках.

В рамках контрактных работ проводились включения тиратрона с холодным катодом ТПИ-1К-35 (рис. 3). Проверялись долговременная стабильность, джиттер, способность выдерживать высокое напряжение, возможности получить короткий фронт. Длительность полученного фронта составила чуть менее 10 нс, что для макетной схемы является очень хорошим показателем. Эти тиратроны планируется установить в генератор, разрабатываемый по контракту для установки NESTOR, строящейся в Харькове.



Рис. 3. Тиратрон ТПИ-1К-35 в изолирующем корпусе, заполненный кремний-органической жидкостью (до 40 кВ рабочего напряжения) и без корпуса (до 20 кВ рабочего напряжения).

По этому же контракту была доработана и отдана в производство широкополосная высоковольтная нагрузка со встроенным делителем (рис. 4), идентичная используемой на ВЭПП-2000. При длительности импульса до 30 нс и наполнении элегазом данная нагрузка способна выдерживать напряжение до 90 кВ. Сопротивление поглощающего резистора составляет 50 Ом. Коэффициент деления равен 200. При длительности фронта 2-5 нс отражения от нагрузки составили не более 2%. Качество измерительной части нагрузки видно из приведенных ниже осциллограмм (рис 5).



Рис. 4. Высоковольтная широкополосная нагрузка со встроенным делителем.

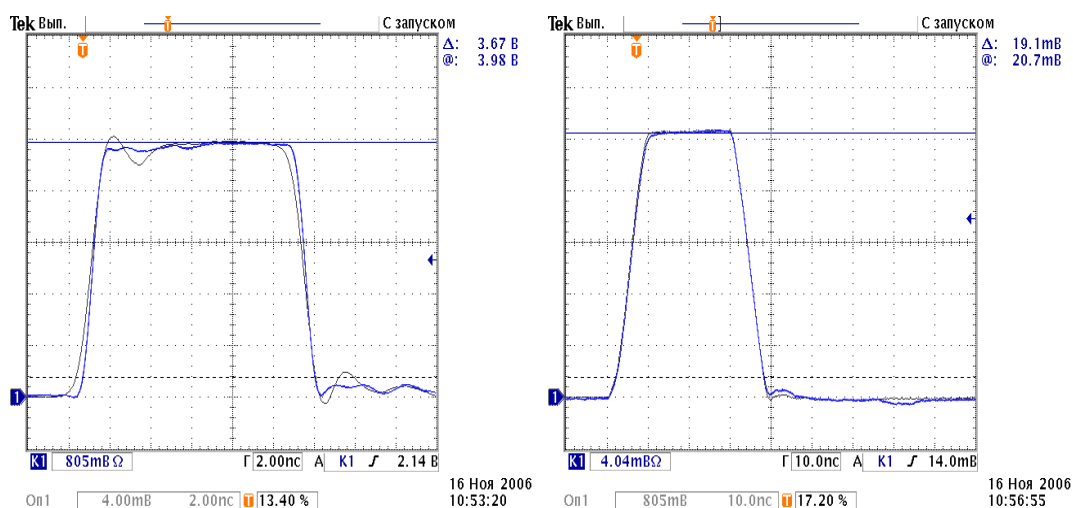


Рис. 5. Примеры осциллограмм на входе и выходе нагрузки методом наложения.

Кроме этих основных работ, был проведен ряд испытаний по использованию коротких высоковольтных импульсов для дезинтеграции биологических объектов. Такие работы проводятся и в других электрофизических лабораториях и носят не только экспериментальный, но и прикладной характер. В качестве объекта были проведены испытания на клетках *e-coli*, а также клетках пекарских дрожжей, помещенных в стандартные кюветы для электропорации (рис 6).

Было показано, что под действием электрического поля происходит разрушение клеток. В экстракте клеток накапливались нуклеиновые кислоты, которые регистрировали с помощью электрофореза в агарозном геле (ИЦиГ СО РАН). В качестве матрицы опытов был использован латинский квадрат, что позволило определить значимыми факторами амплитуду импульса и их количество. Длительность импульса не менялась, так как основной идеей этой работы являлась разработка компактного генератора импульсов длительностью 15-50 нс на несколько единиц киловольт, работающего в мегагерцовом (или пачечном) режиме. Такие генераторы могут применяться в различных областях ускорительной физики, к примеру, в системе выпуска и развертки пучка. Более подробно эти эксперименты описаны в публикации, готовящейся к выпуску.

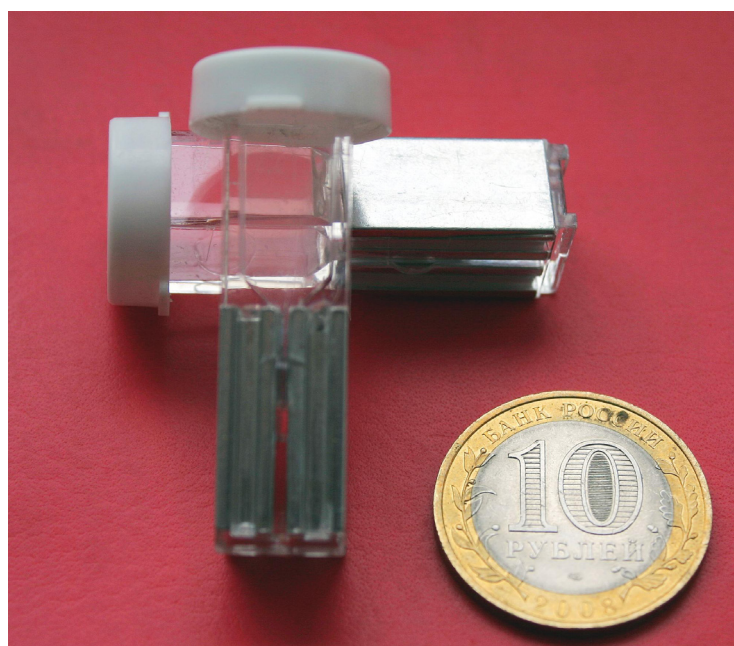


Рис. 6. Кюветы для электропорации.

## 5.11 Разработка высокоинтенсивной нейтронной

### мишени

В ИЯФ СО РАН в рамках сотрудничества между ИЯФ, INFN-LNL (Леньяро, Италия), GANIL (Кайен, Франция) и ВНИИТФ (Снежинск) продолжена разработка высокоинтенсивной нейтронной мишени для проектов получения радиоактивных ионных пучков второго поколения SPES и SPIRAL-II. Мишень представляет собой вращающийся несущий металлический диск с закрепленным на нем графитовым конвертором, охлаждаемым собственным тепловым излучением. В качестве привода вращения, подвески и теплосъемного контура предложены жидкометаллические (ЖМ) устройства, использующие в качестве агента сплав 90% Pb + 10% Sn.

Цель настоящего этапа работ – разработка и испытания:

- полноразмерной мишени, рассчитанной на 200 кВт-ный первичный пучок
- ЖМ контуров привода и теплосъема, включая насосы/моторы, теплосъемные каналы и теплообменник, защитное окно, приборы контроля параметров контуров
- технологии предварительной проверки отдельных элементов и узлов нейтронной мишени, включая создание специального испытательного стенда на базе мощного низкоэнергетического электронного ускорителя, а также экспериментальную отработку на нем предложенных методов.

В течение 2009 года в результате проведенных работ:

Проведен термомеханический анализ мишени системы. Определены параметры и режимы работы конвертора при различных размерах и мощности первичного пучка. Рассчитаны конструкция (рис. 7) и параметры ЖМ устройств для прототипа мишени, рассчитанного на мощность 60 кВт (модифицированная электронная пушка). Также определены параметры панели охлаждения для мишени, рассеивающей мощностью 200 кВт (обычная конструкция и тонкая панель). Показано, что:

- Использование в моделировании различных распределений пучка существенно не повлияло на поле температур и напряжений в мишени, а также на их максимальные значения.

- При проектировании мишени и определении ее размеров необходимо учитывать ухудшение теплопроводности графита как результат накопления радиационных дефектов. Этот эффект более ярко выражен в низкотемпературной области. При температуре выше 1000 °С дефекты начинают исчезать за счет отжига, который, таким образом, компенсирует потери теплопроводности. При рабочей температуре мишени 1850 °С в процессе отжига в значительной степени восстанавливаются свойства материала.

Создан испытательный стенд (рис. 8), включающий в себя электронный ускоритель (на 60 кэВ, 30 кВт), экспериментальные камеры, ЖМ контур, системы откачки и прогрева, контрольно-измерительное оборудование:

- Изготовлены и смонтированы экспериментальные и вспомогательные камеры и объемы ЖМ контуров.

- Смонтированы и налажены системы откачки, прогрева/стабилизации температуры и т.д.

- Изготовлен комплект электроники, необходимой для работы стенда. Проведены монтаж и наладка силовой и измерительной электроники, отладка системы управления и сбора данных.

- Изготовлен и испытан электронный ускоритель с энергией пучка до 60 кэВ и мощностью до 30 кВт.

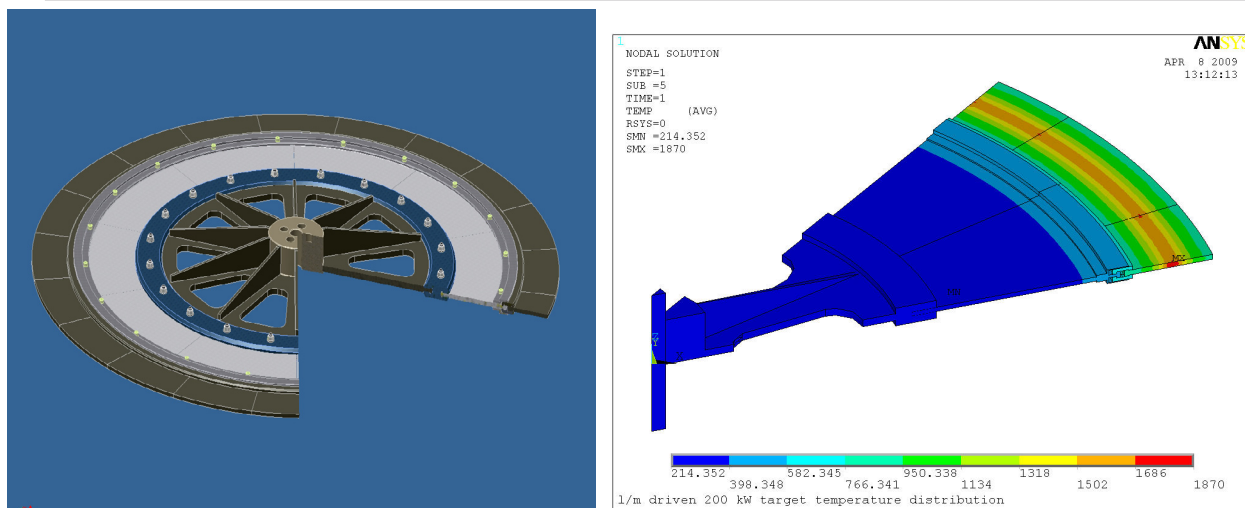


Рис. 7. Конструкция мишени (слева) и распределение температуры в мишени при мощности пучка 200 кВт, 4 см ( $4\sigma$ ), диаметре мишени 140 см.

- Произведена реконструкция экспериментального зала для размещения стенда. Модернизированы его основные системы, включая вентиляцию, освещение и электропитание, дистиллят и т.д., установлена новая кран-балка.
- Изготовлено все основное ЖМ оборудование для испытательного стенда, включая ЖМ теплообменник контура охлаждения мишени, вспомогательные объемы и трубопроводы ЖМ контуров, диагностические устройства экспериментальных камер и параметров ЖМ контуров.

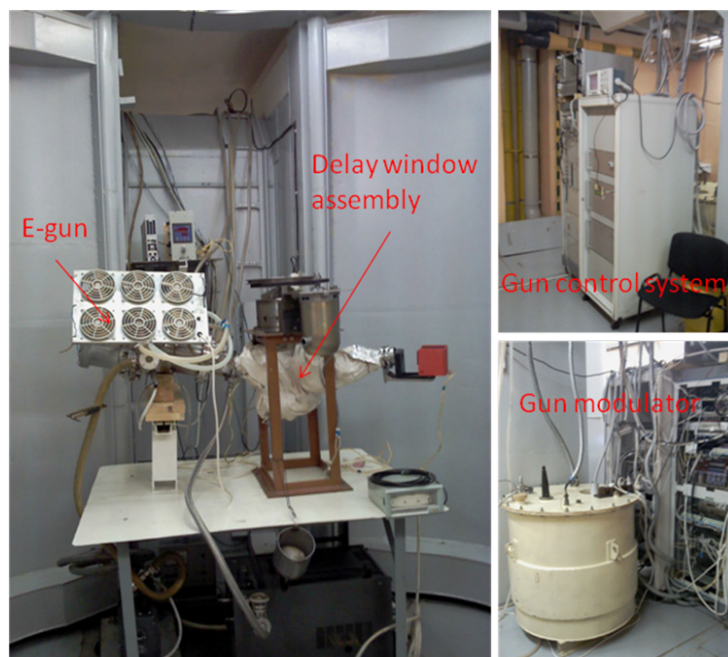
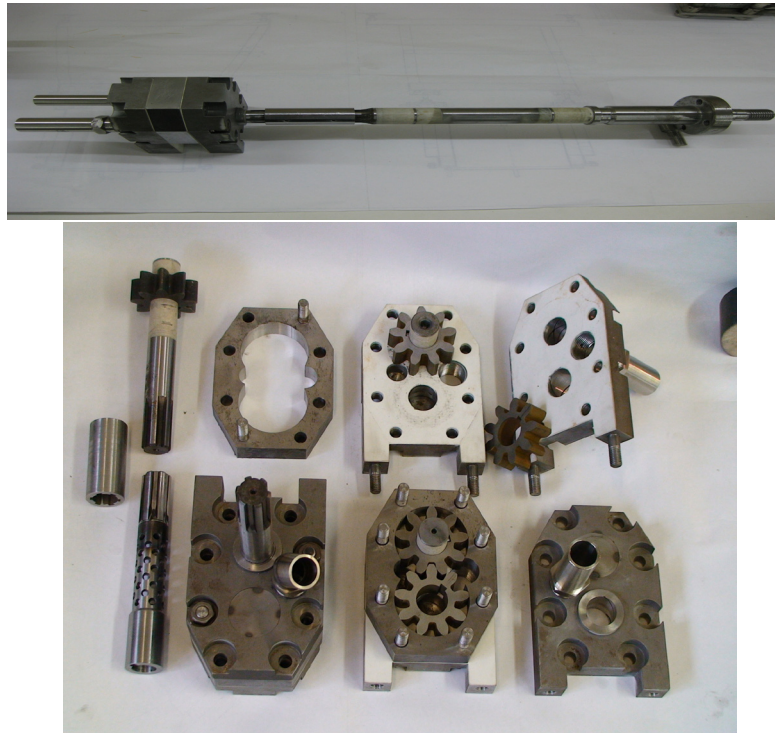


Рис. 8. Испытательный стенд.

Изготовлены и испытаны основные ЖМ устройства (рис. 9-12) – мотор/насосы, панели охлаждения, теплообменник, защитное окно, датчики давления и расхода ЖМ. Испытания показали работоспособность устройств. В процессе экспериментов электронный пучок диаметром 2 мм и энергией до 60 кВ направлялся на защитное окно. Определялась максимальная плотность мощности, которая не приводила к разрушению окна. Она составила 55 кВт/см<sup>2</sup> при скорости ЖМ струи 0,9 м/с и 110 кВт/см<sup>2</sup> при скорости 1,33 м/с. Пиковая мощность пучка равнялась, соответственно, 1,8 и 3,6 кВт, что превосходит расчетные режимы работы мишени. Теплообменник обеспечил отвод потока тепла мощностью 2,8 кВт на один

сегмент при расчетной мощности 3кВт. ЖМ насос работал в штатном режиме. ЖМ мотор – в штатном режиме при низких оборотах. При высоких оборотах (и перепаде давления на моторе) происходило заклинивание шестерен мотора. Причина этого явления выявлена,



конструктивные недостатки устранены.

Рис. 9. ЖМ насос.

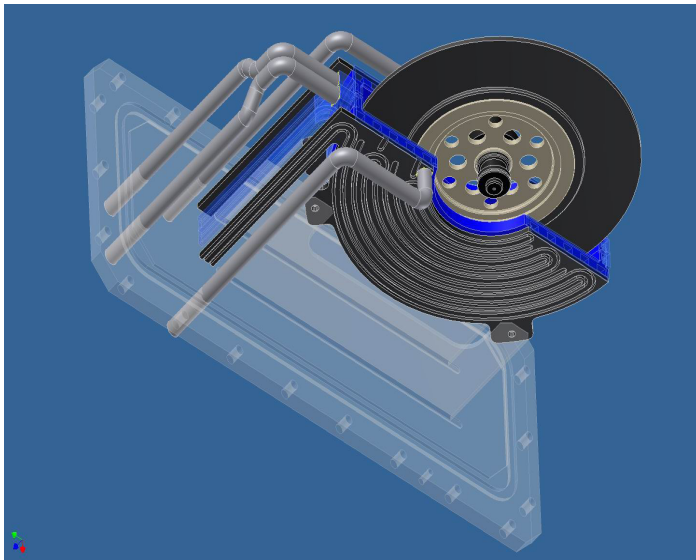


Рис. 10. ЖМ панели охлаждения.

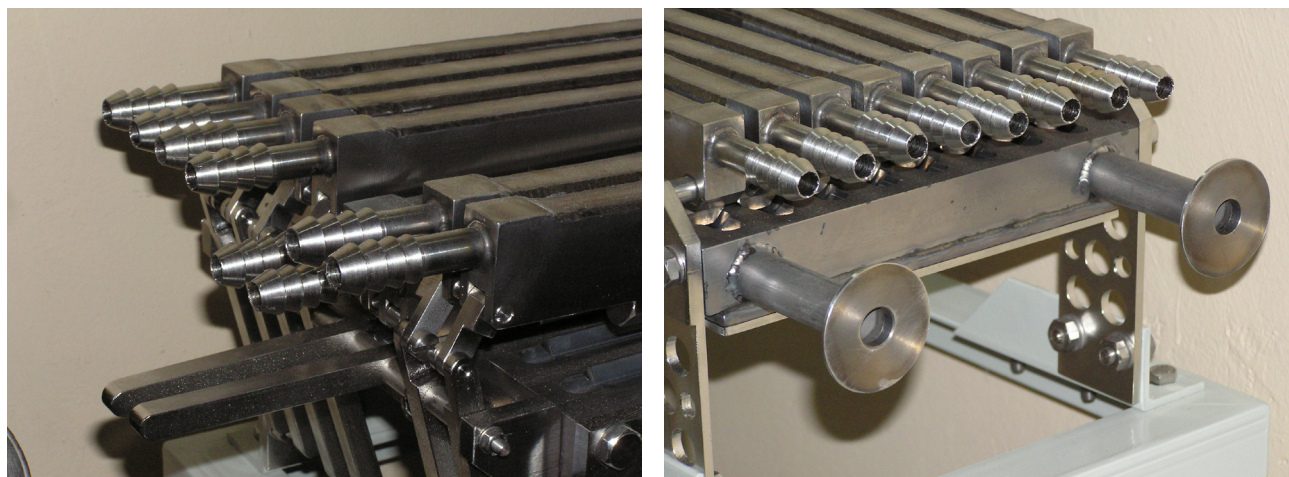


Рис. 11. ЖМ теплообменник.

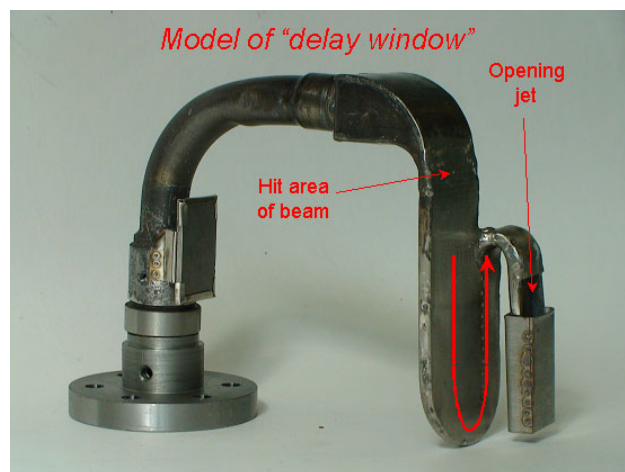
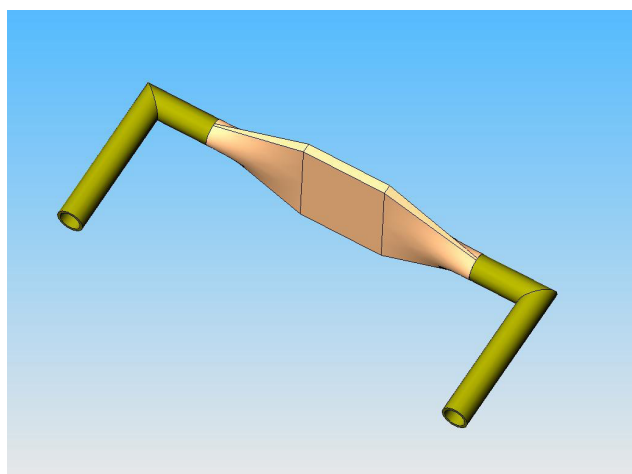


Рис. 12. Схема и модель защитного окна.

Проведен анализ вариантов и выбор технических решений для совместной компоновки подсистем нейтронной мишени с учётом её применения на установке SPIRAL-II (GANIL, Франция). Проработаны системы привода вращения нейтронной мишени и защиты урановой мишени деления на основе жидкого металла для установки SPIRAL-II. Представлен оптимизированный вариант компоновки ЖМ системы в мишенный модуль проектируемой установки SPIRAL2. Оптимизирована геометрия вакуумного объёма мишенного модуля с целью удобства размещения ЖМ элементов, а также использования первичного пучка различной (пониженной) мощности, а также защитного окна (delay window). Разработана принципиальная схема дистанционного демонтажа внутренних частей и узлов из мишенного узла.

Подобран графитовый материал для конвертора мишени, изготавливаемый в ЕС (марка CGD производства HENCKE, Германия), проведены его испытания и исследование свойств и структуры. Для уточнения дальнейших расчетов режимов работы и времени жизни мишени проведены измерения температуропроводности, теплоемкости и скорости испарения графитов МПГ, CGD и РОСО.

Главным результатом, полученным при выполнении работ, **явился выбор и обоснование** технических решений для узлов и систем мощной нейтронной мишени с учётом особенностей их применения на установках SPES (INFN-LNL, Италия) и SPIRAL-II (GANIL, Франция).

Работа проводилась при поддержке МНТЦ (грант №3682) совместными силами лаб. 5-0 и 5-1.

**6**

**Синхронное  
излучение и лазеры  
на свободных  
электронах**





## Введение

На базе установок и лабораторий ИЯФ функционирует Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения (СЦСТИ), имеющий два направления работ. Одно из них – “синхротронное излучение”, работы на пучках синхротронного излучения (СИ) из накопителей ВЭПП-3 и ВЭПП-4М, а также разработка и создание систем для генерации СИ для российских и зарубежных центров СИ. Другое – “терагерцовое излучение”, работы с использованием излучения Новосибирского лазера на свободных электронах в терагерцовом диапазоне (40-240 мкм), дальнейшее развитие Новосибирского ЛСЭ, а также участие в зарубежных проектах ЛСЭ.

Программа работ по направлению “синхротронное излучение” в 2009 году включала:

- проведение фундаментальных и прикладных исследований, а также разработку новых технологий с использованием синхротронного излучения накопителей ВЭПП-3 и ВЭПП-4М;
- создание экспериментального оборудования для работ с пучками СИ (каналы, экспериментальные станции, рентгеновская оптика, монохроматоры, детекторы);
- разработку и создание ускорителей – специализированных источников СИ;
- разработку и создание специальных магнитных систем для генерации СИ – виглеров и ондуляторов;
- обучение и профессиональную подготовку студентов и аспирантов.

Для проведения работ на пучках СИ на накопителе ВЭПП-3 в 2009 году было выделено 1197 часов рабочего времени в режиме “Синхротронное излучение” (в 2008 году – 1956 часов) и 432 часа в режиме “СИ” выделено на ВЭПП-4М (в 2008 году 240 часов). В экспериментах были задействованы 11 станций на 7 каналах вывода СИ из ВЭПП-3 и на 2 станциях СИ из ВЭПП-4М. На станциях проводили работы исследовательские группы из 55 институтов и других организаций.

Программа работ по направлению “терагерцовое излучение” в 2009 году включала:

- развитие экспериментальных станций и проведение исследований на действующем однооборотном лазере терагерцового диапазона (110-240 мкм);
- завершение монтажа и запуск двухоборотного ускорителя-рекуператора; начало экспериментов на выведенном пучке из ЛСЭ 2-й очереди в диапазоне длин волн 40-120 мкм;
- работы по созданию третьей и четвертой дорожек ускорителя-рекуператора;
- участие в зарубежных проектах по разработке и созданию мощных ЛСЭ;
- обучение и профессиональную подготовку студентов и аспирантов.

Для выполнения исследований на пучках терагерцового излучения из Новосибирского лазера на свободных электронах в 2009 году было выделено 710 часов рабочего времени (в 2007 году -780 часов, в 2008 году - 430); уменьшение в 2008 году связано с работами по монтажу двухоборотного ускорителя-рекуператора для ЛСЭ 2-й очереди. Работа с пучками терагерцового излучения проводилась на 5-ти экспериментальных станциях. На станциях проводили исследования сотрудники 8 институтов СО РАН, Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН (Москва), а также преподаватели, студенты и аспиранты Новосибирского государственного университета и Новосибирского государственного технического университета.

Работы Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения в 2009 году проводились при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (ФАНИ) в рамках Программы развития центров коллективного пользования (госконтракты ФАНИ № 02,552,12,7001 и № 02,552,11,7081), а также большого количества интеграционных проектов СО РАН, РАН, проектов РФФИ и других источников финансирования, указанных далее по тексту.

## 6.1 Работы на пучках СИ из ВЭПП-3

### 6.1.1 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. Она является единственной в мире.

Участвующие организации в 2009 году:

1. Институт гидродинамики СО РАН, Новосибирск;
2. Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка;
3. Институт теплофизики экстремальных состояний РАН, Москва;
4. Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск;
5. Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск;
6. Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск;
7. Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск;
8. Российский федеральный ядерный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики» (РФЯЦ ВНИИТФ), Снежинск.

Темы исследований и дополнительные источники финансирования в 2009 году:

1. Исследование процессов малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) при детонации тротила, гексогена и ТГ50/50. Интеграционный проект СО РАН №23: Синхротронная диагностика быстропротекающих процессов (в том числе взрывных).
2. Исследование необратимых процессов, вызванных высокоинтенсивными воздействиями на конденсированные среды, с помощью синхротронного излучения (Грант РФФИ № 06-02-17335-а).
3. Исследование ударной сжимаемости аэрогеля трех различных начальных плотностей в диапазоне скоростей ударника от 2 до 3 км/с. Программа Фундаментальных исследований Президиума РАН П-09 «Исследование вещества в экстремальных условиях» (координатор акад. В.Е. Фортов).
4. Исследование детонационных процессов в газовых, гетерогенных и конденсированных средах, в том числе для создания фундаментальных основ технологий. Исследование детонации и ударноволновых процессов с использованием синхротронного излучения. Договор о научно-техническом сотрудничестве ИЯФ СО РАН, РФЯЦ ВНИИТФ (г. Снежинск), ИХТТМ СО РАН, ИГиЛ СО РАН.
5. Исследование синтеза металлических наночастиц в экстремальных условиях детонации. Грант РФФИ № 07-02-19382 "Исследование методами синхротронного излучения физико-химических процессов в экстремальных условиях высоких температур и давлений: быстропротекающие деструкция и синтез". Программа СО РАН на 2009 год раздел 5.1.4. "Разработка методов активного физического воздействия на химические превращения".
6. Исследования необратимых процессов в конденсированных (сплошных, пористых) средах, происходящие при интенсивных внешних, в том числе ударно-волновых, воздействиях. Гос. Программа 0120.0 406861.
7. Исследование поведения гомогенных и гетерогенных сред при высокоэнергетическом воздействии. Разработка методики измерения распределения плотности на фронте детонации цилиндрических зарядов малого диаметра с разрешением 100 мкм. Гос. Программа №0120.0 406860.
8. Измерение распределения плотности вдоль газовой кумулятивной струи при детонации ТГ 50/50. Гос. Программа № 0120.0 406862.

9. Нестационарные явления в многофазных средах (динамика структуры течений, фазовые переходы, кумулятивный синтез, математические модели).

10. Изучение возможностей синхротронного излучения с энергиями 30 - 60 кэВ для проведения исследования детонационных и ударноволновых процессов в зарядах взрывчатых веществ массой до 1500 г; разработка станции «Детонация» на ВЭПП-4М (Грант РФФИ № 07-02-01079-а).

Пример работы 2009 года:

**Исследование образования твердого конденсата во время детонации взрывчатых веществ ФЯЦ ВНИИТФ (г. Снежинск).**

Основная задача химического взрывчатого вещества, используемого ФЯЦ ВНИИТФ - это оптимальное обжатию сферических изделий за счет образования высокого давления на фронте детонации. Однако, кроме роста давления, обусловленного, в основном, образованием газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ , возможно образование конденсированного углерода в виде аморфной фазы, графита и алмаза. Чем больше образуется конденсированного углерода, тем меньшее давление можно достичь, что крайне нежелательно.

Сотрудники ИЯФ, ИГиЛ и ИХТТМ СО РАН разработали прямой динамический метод наблюдения за образованием твердой фазы в зоне химической реакции детонации, позволяющий измерить концентрацию образовавшихся наночастиц. Метод основан на рассеянии синхротронного излучения на образующихся наночастицах: интегральная интенсивность рассеяния пропорциональна числу наночастиц, а форма рассеяния несет информацию о размерах наночастиц. Метод является развитием статического метода малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР), применяемого для исследования нанообъектов.

В 2009 году была протестирована партия ВВ из ФЯЦ ВНИИТФ на основе триаминотринитробензола (ТАТБ) и получена информация о фазовом составе в зоне химической реакции во время детонации. Основные вопросы, которые необходимо было выяснить: 1) образуется ли конденсированная фаза углерода в зоне химической реакции; 2) если образуется, то сколько; 3) если образуется, то где, в какой области зоны химической реакции; 4) какую кристаллографическую форму принимает углерод – аморфную, графита или алмаза; 5) какие условия могут затормозить или уменьшить образование твердой фазы углерода.

Исследовались прессованные заряды ТАТБ диаметром 20 мм. Результаты показывают, что в ТАТБ на фронте детонации фиксируются наночастицы размером  $d \sim 1,5$  нм. Далее размер частиц слабо растет и за время  $t = 3-4$  мкс достигает в ТАТБ значения  $d \approx 2,6$  нм. Судя по амплитуде сигналов МУРР, можно предположить, что следов наноалмазов в продуктах взрыва ТАТБ нет.

Вопрос о конденсации углерода при детонации ВВ с отрицательным кислородным балансом, остаётся дискуссионным до настоящего времени. Ответ на него важен как для понимания физики явления, так и для оценки количества энергии, которая выделяется при экзотермической коагуляции углеродных кластеров.

Оценки показывают, что метод МУРР в наших экспериментальных условиях дает возможность фиксировать рассеянное излучение от частиц размером от единиц до сотен нанометров.

За одну вспышку СИ детектор регистрирует рассеяние во все каналы (делает один кадр), фиксируя распределение МУРР от угла. Поскольку фронт детонации движется по оси  $Z$  с постоянной скоростью 7,5 км/с (для ТАТБ с плотностью 1,81 г/см<sup>3</sup>), то через два периода следования импульсов СИ  $T = 0,5$  мкс детектор записывает еще одно распределение МУРР (еще один кадр), формируя последовательность распределений сигналов МУРР. Фактически это рентгеновское дифракционное кино с временным сдвигом 0,5 мкс и длительностью каждого кадра в 1 нс.

При облучении исходных ВВ был зарегистрирован заметный сигнал МУРР, практически исчезающий непосредственно на фронте детонации. Вероятно, это вызвано наличием в исходном ВВ заметных межкристаллических пор, которые устраняются при сжатии ВВ

под воздействием мощной ударной волны. Кроме этого, даже при появлении частиц конденсированного углерода в этой зоне, где сжатие ВВ максимально, относительно малым оказывается значение “контрастности” – квадрата разности плотностей частиц углерода и ВВ:  $(\rho - \rho_0)^2$ . Далее амплитуда сигнала плавно нарастает, изменяется также и угловое распределение МУРР.

В целом, при детонации конденсированных ВВ (TNT, RDX/TNT, TATB) зависимость МУРР от времени примерно одинаковое, но амплитуда интегрального МУРР (суммарного по всем каналам детектора) у них заметно отличается (рис. 1). Наибольший сигнал интегрального МУРР у смеси TNT/RDX. У зарядов из TNT и TATB он заметно меньше (в примерно 1,5 раза). Это означает, что рассеивающие частицы имеют меньшую плотность и, скорее всего, являются графитоподобными. Регистрируемых следов нанодiamondов в TNT и TATB не отмечается, а если они есть, то их размер не превышает 1 нм.

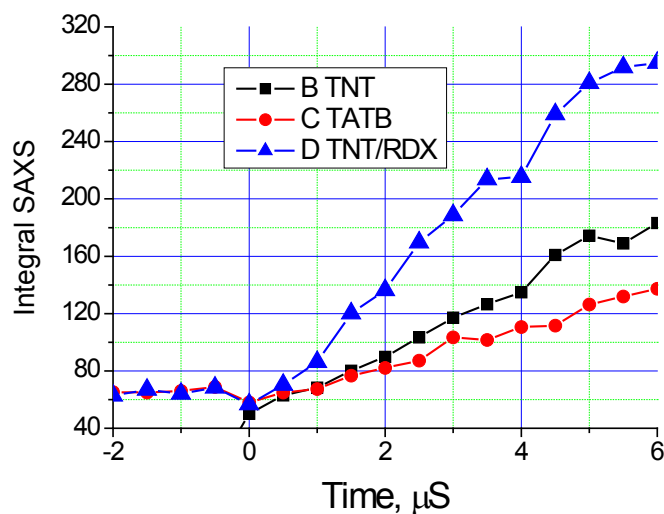


Рис. 1. Зависимость интегрального МУРР от времени при детонации TNT, TATB и TNT/RDX.

Из измерений распределений МУРР следует, что практически сразу за фронтом детонации фиксируются наночастицы размером  $d \sim 1,5-2,5$  нм. Далее размер частиц слабо растет и на время  $t=3$  мкс достигает  $d \approx 2,5$  нм для TATB. Судя по амплитуде сигналов МУРР, следов нанодiamondов размером более 1 нм в продуктах взрыва TATB не обнаружено.

### 6.1.2 Станция – «LIGA-технология и рентгеновская литография»

В 2009 завершено оснащение специализированного лабораторного помещения «Чистая комната» высокотехнологичным оборудованием: плазмохимическая установка производства EDWARDS (Англия) AUTO 500 для очистки подложек и нанесения покрытий; установка POLI-300 для шлифования и полирования подложек и LIGA-изделий; сканирующий электронный микроскоп Hitachi S-3400N; лабораторный пресс с программируемым режимом прессования производства Schmidt Technology (США).

В 2009 году проводилась разработка технологических этапов LIGA-процесса:

- малозатратный метод рентгеношаблонов для LIGA в одностадийном процессе;
- методы контроля качества создаваемых рентгеношаблонов;
- метод изготовления оптических элементов с микропрофилем;
- метод изготовления свободновисящих медных сеточных структур;

- метод изготовления медных прессштампов;
- метод изготовления полимерных микроизделий методом горячей формовки, на примере изготовления микрофлюидных систем.

Выполняемые в 2009 году работы проводились при поддержке Интеграционного проекта СО РАН №55 и проекта РФФИ № 07-02-01459-а.

Участвующие организации:

Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск;

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск;

Новосибирский институт органической химии СО РАН, Новосибирск;

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск.

Примеры работ 2009 года:

#### **Разработка малозатратного одностадийного технологического процесса изготовления рентгеношаблонов (РШ).**

Используемые в ведущих мировых исследовательских центрах способы изготовления рентгеношаблонов (РШ) для LIGA-технологии трудоемки и дорогостоящи, основаны на двухстадийной технологии. На первом этапе создается промежуточный шаблон с использованием электронно-лучевой литографии и гальванопластики поглощающего покрытия. Мягкая рентгеновская литография используется для формирования с помощью промежуточного шаблона рисунка в толстом слое полиметилметакрилата, последующая гальванопластика рентгенопоглощающего материала (например, золота) используется для создания рабочего шаблона для жесткого СИ. Поисковые работы требуют создания большого количества опытных образцов микроструктурированных изделий. Для таких элементов характерны критические размеры более 5 мкм.

Поэтому нами был разработан основанный на фотолитографии метод изготовления рентгеношаблонов (РШ) в одностадийном процессе с поглощающим рисунком из рения или золота на подложках двух типов: из стеклоглерида и фольги из терморасширенного графита.

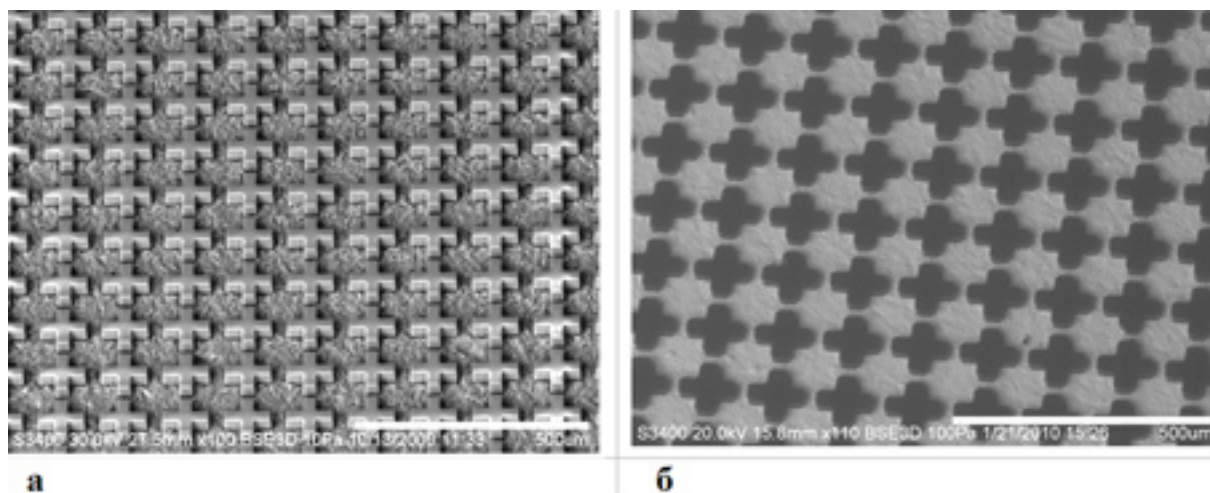


Рис. 2. а) Заготовка РШ до гальванопластики - созданная фотолитографически структура из SU-8 на стеклоглерида. Ширина линий - 30 мкм, высота рисунка - 30 мкм; б) Рентгеношаблон, полученный после электрохимического осаждения на заготовку 20 мкм слоя золота.

На первом этапе с помощью стандартной технологии фотолитографии создается необходимая структура в резисте SU-8, которая потом покрывается слоем рения или золота. Разработан оптимизированный способ гальванического осаждения сплава рений-никель на стеклоглериодные подложки, обеспечивающий содержание рения в покрытии ~ 90%. Для

гальванического осаждения золота на свободные от фоторезиста участки стеклоглеродной подложки был испытан сульфитно-тиосульфатный электролит, который обеспечивает достаточно высокую скорость осаждения и качество золотого покрытия в порах микронного размера. Полученный в этих условиях осадок золота достаточно гладкий, не имеет разрывов при толщине покрытия около 30 мкм. Достигнутые результаты изготовления РШ удовлетворяют требованиям для проведения глубокой рентгеновской литографии на станции LIGA накопителя ВЭПП-3. Проведенные расчеты контраста шаблонов с подложкой из 500 мкм стеклоглерода показывают, что для работы с излучением накопителя ВЭПП-3 на станции LIGA оптимальная толщина поглотителя составляет 17-22 мкм.

Контроль рисунка микроструктуры и состава поглощающего слоя осуществлялся с использованием сканирующего электронного микроскопа. Дополнительная проверка качества РШ проводилась непосредственно с использованием рентгеновского излучения на станции СИ «Рентгеновская микроскопия и томография» накопителя ВЭПП-3. В работе использовалось монохроматическое излучение с длиной волны  $\lambda=0,9 \text{ \AA}$ , отвечающей максимуму спектральной интенсивности СИ на станции «LIGA». Полученные на станции "Рентгеновская микроскопия и томография" изображения позволяют напрямую осуществлять контроль качества изготовления и контраста шаблона в рентгеновском излучении. На рентгеновских микроснимках дефектные участки с недостаточным контрастом представляются светлыми пятнами в темном рентгеноконтрастном поле, тогда как полученное в сканирующем электронном микроскопе изображение не дает однозначной информации о контрасте шаблона.

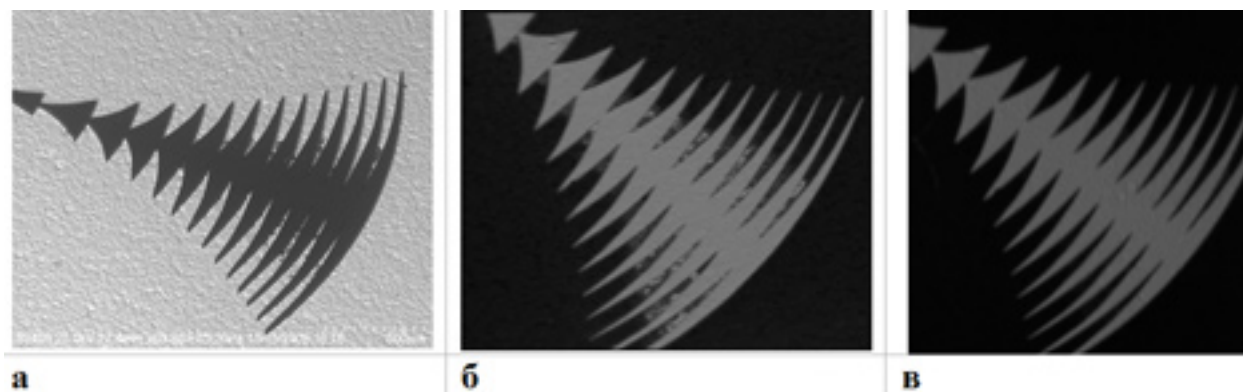


Рис. 3. а) Изображение шаблона, полученное с помощью СЭМ; б) Рентгеновское изображение шаблона с недостаточной толщиной поглощающего слоя ( $Au$ ), получено на станции «Рентгеновская микроскопия и томография»; в) Рентгеновское изображение шаблона после дополнительного увеличения толщины поглощающего слоя золота, получено на станции «Рентгеновская микроскопия и томография».

Разработан технологический процесс изготовления полимерных микроизделий методом горячей формовки. Для этого разработан метод изготовления медных прессштампов с микрорисунком, использующий технологии рентгенолитографии и электроосаждения. На базе лабораторного прессы (производства Schmidt Technology), дополненного устройством автоматического задания температуры формуемого образца, создана лабораторная установка получения микрорельефов на поверхности полимерных пластиков. Первые результаты изготовления прототипов микрофлюидных аналитических систем получены на образцах из органического стекла марки ТОСП (ГОСТ 17622-72).

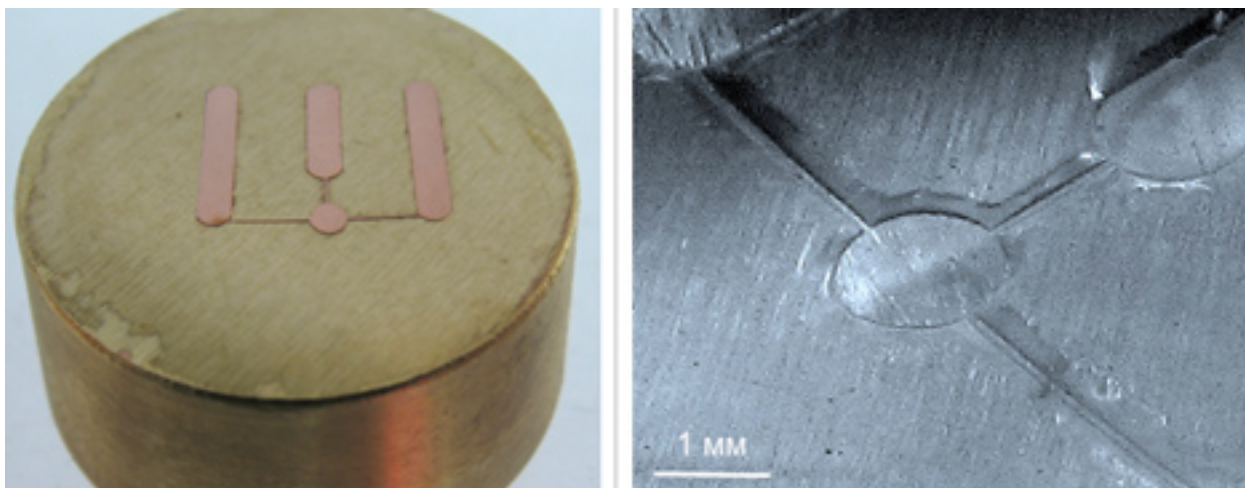


Рис. 4. Изготовленный по LIGA-технологии латунный штамп с гальванически осажденным медным топологическим рисунком (высота рельефа  $\sim 35$  мкм, минимальный латеральный размер  $\sim 50$  мкм) и полученный с его помощью микрорельеф биочипа на поверхности оргстекла.

### 6.1.3 Станция – «Дифрактометрия высокого разрешения»

Станция предназначена для прецизионных исследований структуры поликристаллических материалов методами рентгеновской дифрактометрии.

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 2009 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 2009 года:

1. Структура мезоструктурированных силикатов типа Solid Core - Mesoporous Shell с различным диаметром мезопор, различным диаметром силикатного ядра и различной толщиной мезопористого покрытия (Институт катализа СО РАН).
2. Мезоструктурированные силикатные материалы, вариация размера мезопор с различной температурой гидротермальной обработки (Институт катализа СО РАН, Институт химии и химической технологии СО РАН).



3. Тонкие пленки мезоструктурированных силикатных материалов (Институт катализа СО РАН).
4. Гетероструктуры на основе германия и кремния. Квантовые точки (Институт физики полупроводников СО РАН, Институт катализа СО РАН).
5. Сцинтилляционные материалы нового поколения на основе тройных молибдатов (Институт неорганической химии СО РАН).
6. Кислород-проводящие материалы на основе перовскитоподобных оксидов (Институт катализа СО РАН, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).
7. Упрочняющие покрытия на основе нитрида титана (Томский политехнический университет).
8. Структурные изменения и релаксационные процессы в палладии при внедрении водорода (Томский политехнический университет).
9. Медно-цериевые катализаторы получения и очистки водорода от примесей СО (Институт катализа СО РАН).
10. Релаксационные процессы в цирконии при пластических деформациях (Институт физики прочности и материаловедения СО РАН).
11. Катализаторы на основе интерметаллидов никеля-алюминия для процессов углекислотной конверсии метана (Институт катализа СО РАН, Томский государственный университет).

Примеры работ 2009 года:

#### **1. Мезоструктурированные материалы.**

В настоящее время более 90% промышленных химических процессов осуществляются на адсорбентах и гетерогенных катализаторах. Эффективность их использования зависит не только от химического и фазового состава, но и от текстурных характеристик: удельной поверхности, объема пор и их распределения по эффективным размерам. Поэтому направленное регулирование текстурных параметров катализаторов и адсорбентов является важной задачей. С точки зрения катализа привлекательные и уникальные свойства 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.

Один из типичных примеров 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 ПАВ Pluronic P123. Текстурные характеристики (удельная поверхность мезопор, удельный объем мезопор, распределение мезопор и микропор по размерам) определяются из изотерм сорбции азота, структурные (параметр двумерной элементарной ячейки, степень регулярности структуры) – рентгеновской дифракцией на станции «Аномальное Рассеяние» в Сибирском центре синхротронного излучения. Распределения пор по размерам представлены на рис. 5.

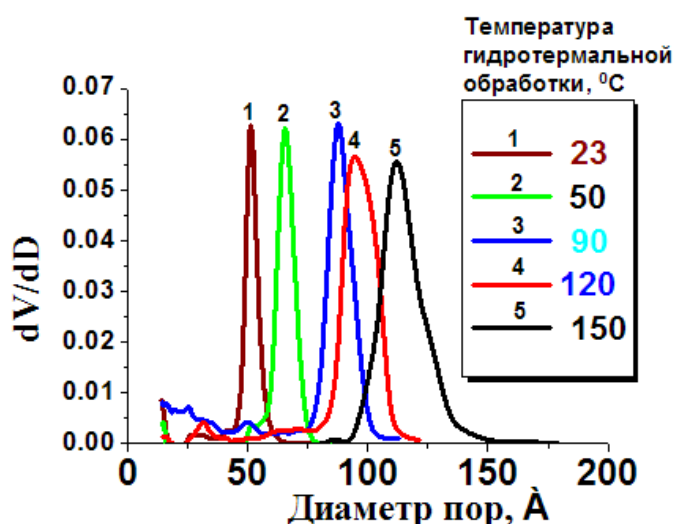


Рис. 5. Распределения мезопор по размерам для материала SBA-15 при различных температурах гидротермальной обработки (от 23°C до 150°C).

Рассчитанные по приведенным зависимостям текстурные и структурные характеристики полученных материалов представлены в таблице 1.

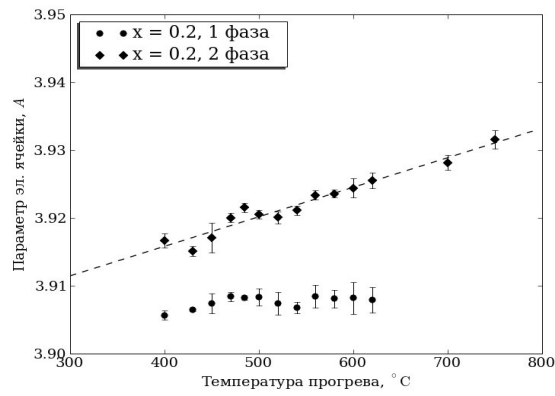
Таблица 1. Рассчитанные характеристики полученных материалов.

Температура ГТО	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г			Объем пор, м <sup>3</sup> /г			d <sub>10</sub> , нм	a <sub>0</sub> , нм	Диаметр пор*, нм
	A <sub>БЭГ</sub> , м <sup>2</sup> /г	A <sub>вн</sub> , м <sup>2</sup> /г	A <sub>мезо</sub> , м <sup>2</sup> /г	V <sub>Σ</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>микро</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>мезо</sub> , см <sup>3</sup> /г			
23°C	607	41	456	0,54	0,073	0,49	8,02	9,26	5,1
50°C	708	16	460	0,70	0,11	0,67	9,19	10,61	6,5
90°C	871	100	648	1,13	0,11	0,99	10,50	12,13	8,7
120°C	601	170	578	1,16	0,02	0,95	10,76	12,43	9,5
150°C	450	151	391	1,22	0,03	1,01	11,02	12,74	11,2

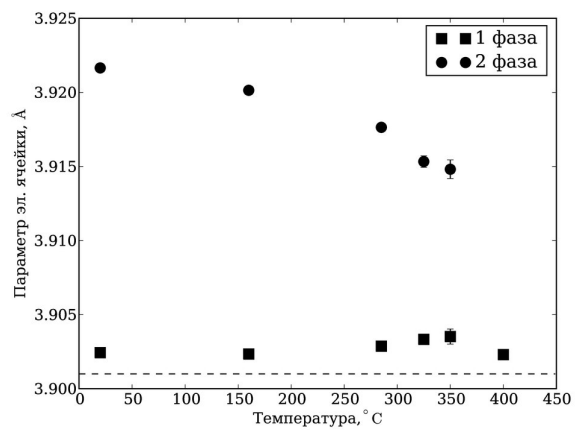
С увеличением температуры ГТО от 23 до 150°C происходит увеличение параметра супрамолекулярной ячейки от 9,3 до 13 нм и размера пор (от 6,5 до 12 нм) получаемых мезофазных материалов, также увеличивается объем мезопор и уменьшается объем микропор. Таким образом, вариацией температуры ГТО достигается направленное изменение структурно-текстурных параметров мезоструктурированных материалов.

## 2. Кислород-проводящие материалы на основе перовскитоподобных оксидов.

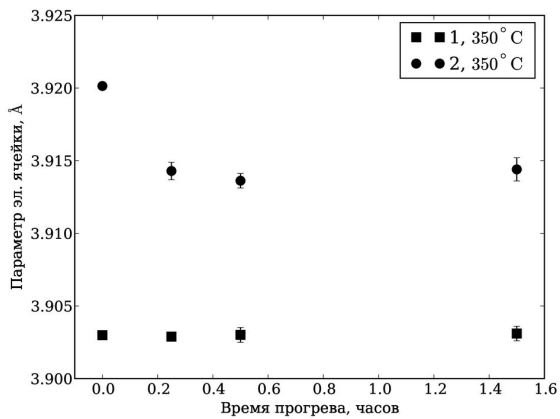
Интерес к перовскитоподобным оксидам вызван их уникальными свойствами, например, смешанной электронно-ионной (кислородной) проводимостью, что позволяет применять такие материалы в качестве электродов в топливных элементах и кислородпроницаемых мембран. Было проведено исследование релаксационных процессов, происходящих при нагреве на воздухе образцов кобальтита стронция, допированного железом и ниобием, предварительно прокаленных в вакууме для получения кислород-дефицитной фазы перовскитоподобного смешанного оксида (рис. 6а). Исследование проводилось методом *ex situ*, то есть образец нагревался в вакууме, затем охлаждался и извлекался в атмосферу. Экспериментально было показано ранее, что при комнатной температуре релаксационные процессы столь медленны, что не происходит заметных изменений структуры образца в течение более чем трех месяцев, что позволяет в данном случае применять предложенный метод.



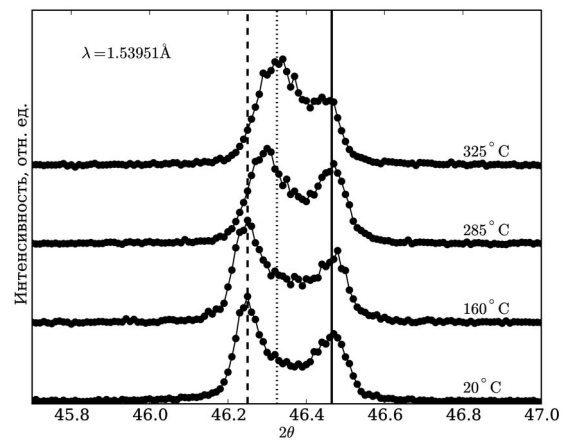
а



б



в



г

Рис. 6. Изменение параметра элементарной ячейки кобальтита стронция (а) с температурой прокаливания в вакууме; (б) с температурой нагрева кислород-дефицитного образца на воздухе; (в) со временем нагрева кислород-дефицитного образца на воздухе; (г) сдвиг рефлекса (200) с температурой нагрева кислород-дефицитного образца на воздухе.

В результате нагрева образца в вакууме возникает вторая фаза, изоструктурная исходной, но с большим дефицитом по кислороду. Параметр элементарной ячейки первой фазы остаётся практически неизменным, независимо от температуры прогрева, в то время как для второй фазы наблюдается постоянный рост с увеличением температуры. Поскольку с повышением температуры прогрева уменьшается содержание кислорода в структуре, а регистрация дифракционных картин происходит при комнатной температуре, то изменения параметра элементарной ячейки могут быть обусловлены только изменением кислородной стехиометрии. Следовательно, вторая фаза обладает дефицитом по кислороду, изменяющимся при различных температурах прогрева.

Если кислород-дефицитный оксид нагреть на воздухе, можно ожидать внедрение кислорода в структуру, причем, чем выше температура, тем больше поток кислорода внутрь образца и тем меньше кислородный дефицит в нём. В данном исследовании процессы релаксации кислород-дефицитные образцы подвергались нагреву на воздухе в интервале температур 160-400°C (Рис. 6б) в течение времени от 15 мин до 67 часов (Рис. 6в) в зависимости от температуры прогрева. После этого проводилась регистрация рентгенограмм *ex situ*. Температура прогрева в вакууме 550°C выбрана из-за того, что именно при этой температуре прогрева наблюдалось наибольшее расщепление рефлексов на дифракционных

картинах.

На рис. 6г показаны дифракционные картины профиля линии 200 в зависимости от температуры прогрева  $T < 400^\circ\text{C}$  (длина волны излучения  $\lambda = 1,53951 \text{ \AA}$ ). При изменении температуры прогрева не изменяются относительные интенсивности рефлексов, относящихся к разным фазам, а наблюдается лишь смещение рефлекса второй фазы в область больших углов. Поэтому внедрение кислорода в структуру не ведёт к изменению соотношения содержания обеих фаз в образце, а только оказывает влияние на кислородную стехиометрию второй фазы.

### **Создание новой станции «Прецизионная Дифрактометрия II» (ВЭПП-3, канал СИ №6)**

На канале вывода синхротронного излучения №6 накопителя электронов ВЭПП-3 создана станция «Прецизионная дифрактометрия II». Станция предназначена для прецизионных исследований поликристаллических материалов методами рентгеновской дифрактометрии. Монохроматизация излучения осуществляется однократным отражением от кристалла-монокроматора, расположенного под углом  $\sim 15,7^\circ$  к направлению первичного пучка с отклонением монохроматизированного пучка в вертикальной плоскости вверх.

Конструкция монокроматора предполагает установку на поворотном устройстве пять различных кристаллов, обеспечивая выбор одной из пяти возможных энергий излучения в зависимости от типа используемого кристалла. Одна из позиций поворотного устройства оставлена свободной для пропускания первичного пучка на другую экспериментальную станцию, смонтированную на этом же канале. В настоящее время на поворотном устройстве установлены кристаллы Si(111), Si(220) и Ge(111).

На станции используется прецизионный гониометр HUBER 480, имеющий шаг по углу  $0,005^\circ$ . Гониометр расположен вертикально, на нем смонтирована панель для крепления системы детектирования. В качестве детектирующего оборудования могут быть использованы либо однокоординатный детектор ОД-3-350 с фокусным расстоянием 350 мм, либо набор сцинтилляционных детекторов с размещенными перед ними кристаллами-анализаторами. В этом случае реализована 4-канальная схема детектирования с интервалом между каналами  $20^\circ$ . В качестве держателя образца могут служить открытая кювета, высокотемпературная камера НТК-2000, камера-реактор ХРК-900 (Anton Paar) и др. Управление станцией осуществляется комплексом автоматизации на базе персонального компьютера.

В 2009 году на станции проведены первые работы: определен диапазон энергий фотонов, получены рентгенограммы стандартного образца SRM676 (корунд). С использованием камеры-реактора Anton Paar ХРК-900 получены экспериментальные данные по изменению структуры и фазового состава интерметаллидного Ni-Al катализатора углекислотной конверсии метана в условиях реакционной среды при температурах до  $830^\circ\text{C}$  (Институт катализа СО РАН, Томский государственный университет).

#### **6.1.4 Станция – «Рентгенофлуоресцентный элементный анализ»**

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

Участвующие организации:

- Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск;
- Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск;

- Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск;
- Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск;
- Научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. Е.Н. Мешалкина, Новосибирск;
- Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, Красноярск;
- Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита;
- Институт земной коры СО РАН, Иркутск;
- Лимнологический институт СО РАН, Иркутск.

Темы работ 2009 года:

1. Разработка инструментального метода определения металлов платиновой группы и серебра методом РФА-СИ (Институт геологии и минералогии им.В.С. Соболева СО РАН, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН). Работа проводилась в рамках Интеграционного проекта СО РАН №83 «Разработка комплекса инструментальных ядерно-физических методов определения металлов платиновой группы, рения, золота и серебра в трудно вскрываемых горных породах и рудах сложного состава».

2. Оценочные и мониторинговые эффекты крупных пожаров и их тяжести на круговорот и распространение углерода, на здоровье леса и его жизнеспособность (Институт химической кинетики и горения СО РАН, Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН). В рамках Проекта NASA NRA-99-OES-06 «Estimating and Monitoring Effects of Area Burned and Fire Severity on Carbon Cycling, Emissions, and Forest Health and Sustainability».

3. Экспрессный анализ генетической изменчивости количественных признаков в популяциях древесных растений: эффективность методов, не требующих смены поколений (Институт химической кинетики и горения СО РАН, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН). Проект РФФИ № 07-04-01714а.

4. Гетерогенная химия и физика атмосферы. Влияние атмосферных аэрозолей на биогеохимические циклы (Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск; Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН). Программа СО РАН: – 18,3. Химия и физикохимия объектов окружающей среды.

5. Разработка методов исследования распределения химических элементов в биотканях с сердечно-сосудистой патологией методом рентгеновской флуоресценции с использованием синхротронного излучения (Научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. ак. Е.Н. Мешалкина, Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН; Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН).

6. Разработка методов анализа химического состава новых материалов (кристаллов и плёнок) на основе РФА СИ, при отсутствии стандартного образца (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН; Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН). Грант ИНТАС - СО РАН 06-1000013-9002 “New layered 3-d materials for spintronics”; грант РФФИ № 07-03-91555-ННИО/А.

7. Изучение кернов донных отложений соленого озера Шира (Хакасия) в целях реконструкции состояния среды в прошлом и прогноза климатического хода в будущем. Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН; Институт земной коры СО РАН; Институт геологии и минералогии СО РАН; Лимнологический институт СО РАН. Грант РФФИ 09-05-98027-р\_сибирь\_a; грант РФФИ 08-05-00392-а; интеграционный грант N38 СО РАН «Минеральные озера Центральной Азии – архив палеоклиматических летописей высокого разрешения и возобновляемая жидкая руда».

Пример работы 2009 года:

### **Изучение кернов донных отложений из озера Шира.**

Изучение кернов донных отложений континентальных озер, в частности, минеральных озер Центральной Азии, обусловлено интересом к зафиксированным в них данным об изменениях состояния среды в прошлом и надеждами на возможность прогноза климатического хода в будущем, а также желанием оценить их минеральные ресурсы.

Полученная совокупность данных сканирующего рентгенофлуоресцентного анализа пяти кернов донных отложений из соленого озера Шира (Хакасия) позволила установить во всех кернах общие особенности распределения стронция по глубине. Стронций контрастно обогащает (до 6000 г/т) два слоя в толще осадков; слои эти есть и в относительно глубоководных отложениях (глубина воды свыше 12 м), и в относительно мелководных (менее 12 м), где добытый материал изначально был окислен – без признаков черного гидротроилита. Визуально слои, обогащенные стронцием, малопримечательны и имеют много общего со многими другими горизонтами. Аномалия стронция в двух слоях служит их уникальным идентификатором и позволяет строить корреляцию отложений, отображенных в разных точках озера. Корреляция данных по содержанию стронция в пяти изученных кернах показана на рис. 7. Корреляция проведена с учетом данных о скоростях осадконакопления в различных точках озера, где были взяты керны. Мы предполагаем одновременное формирование каждого слоя по всей площади озера Шира. Причины аномалии и пути поступления значительных количеств стронция в осадок пока не ясны. Электронный микроскоп, оборудованный детектором флуоресценции, показал отсутствие минеральных фаз–концентраторов стронция (правда, за одним исключением, которое должно служить предметом отдельного обсуждения, но не претендует на универсальность). По-видимому, стронций рассеянным образом входит в структуру карбонатов, а увеличение его количества связано либо (1) со значительным обогащением воды растворенными соединениями стронция (например, при снижении уровня озера) на момент формирования осадка, либо (2) с изменением состава и рН воды, приводившими к выпадению стронция. В пользу последнего свидетельствует также высокая корреляция содержания стронция с содержанием урана: аномальные концентрации последнего в двух обсуждаемых слоях достигают 45 г/т. Некоторое сопутствующее увеличение концентраций Zr, Ti и других элементов, поступающих со взвесью, позволяет допустить также сорбционную природу урана (и, по-видимому, стронция – хотя бы отчасти) в этих горизонтах. Изменения в среде, ставшие причиной стронциевых аномалий в осадках, еще предстоит изучить, однако не вызывает сомнений их универсальная природа по всему озеру и повсеместное нахождение в лечебных грязях, являющихся одним из основных ресурсов озера Шира.

Обработка полученных в экспериментах 2009 года данных продолжается. Интерпретация некоторых результатов возможна лишь при продолжении измерений кернов донных отложений из озера Шира, начавшихся в предыдущие годы.

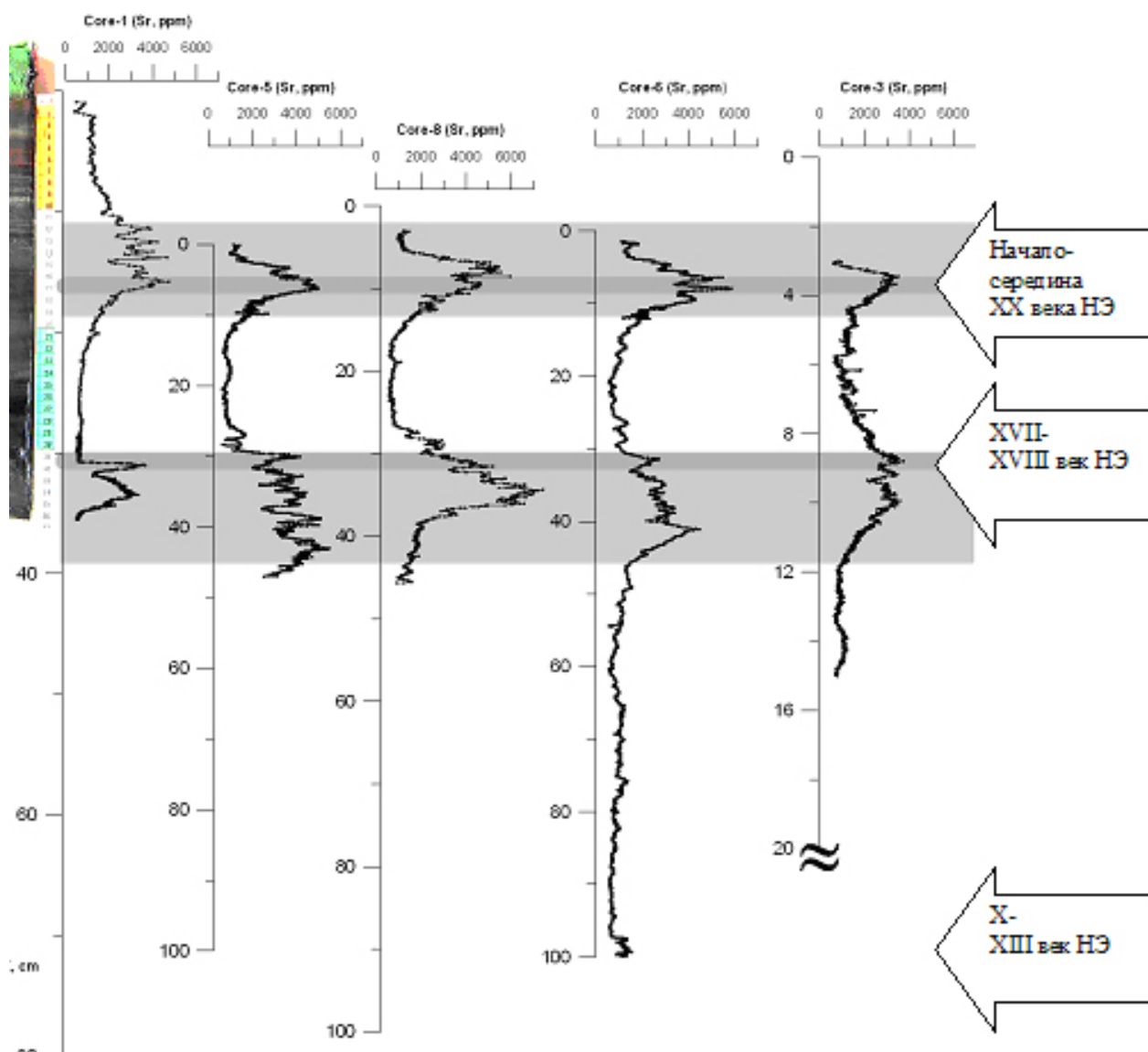


Рис. 7. Содержание стронция в пяти изученных кернах донных отложений из озера Шира.

### 6.1.5 Станция – «Дифрактометрия при высоких давлениях»

Станция предназначена для проведения дифракционных исследований с использованием жесткого рентгеновского излучения в условиях высоких давлений и/или высоких и низких температур.

Участвующие организации:

- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск;
- Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск;
- Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск;
- Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург.

Выполняемые в 2009 году работы проводились при поддержке проектов РФФИ № 08-03-00738-а, РФФИ № 08-03-00636-а, РФФИ № 07-08-00338-а, РФФИ № 07-05-00113-а и Проекта СО РАН по работе со сторонними организациями №138.

Темы работ 2009 года:

1. Проведение исследований процессов контактного плавления и эвтектической кристаллизации в системах Bi-In, Bi-Sn, In-Sn (ИХТТМ СО РАН).
2. Проведение исследований воздействия активаций на регулирование процессов взаимодействия твердых металлов и их соединений с металлическими расплавами с целью создания функциональных материалов с заданной структурой и свойствами (ИХТТМ СО РАН).
3. Исследование упорядочения вакансий в нестехиометрических кислород-проводящих перовскитах (ИХТТМ СО РАН).
4. Дифракционные исследования фазовых превращений в микропористых алюмосиликатах при высоких давлениях (ИГМ СО РАН).
5. Исследования кристаллизации молекулярных кристаллов из растворов и дифракционные исследования их структуры *in situ* (ИНХ СО РАН).
6. Проведение исследований кристаллической структуры фазы высокого давления PbSnS (ИФМ УрО РАН).

Примеры работ 2009 года:

**Дифракционные исследования фазовых превращений в микропористых алюмосиликатах при высоких давлениях** (Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН).

Повышенный интерес к изучению поведения микропористых минералов, в частности, цеолитов, при высоких давлениях обусловлен большой технологической значимостью получаемых на их основе нанопористых материалов. Одно из их свойств - подвижность внутрипоровых молекулярных компонентов. Сжатие цеолитов в проникающей водной среде может приводить к эффекту сверхгидратации – появлению дополнительных молекул воды в структурных полостях цеолита. Сверхгидратация сопровождается увеличением объема внутренних пор и перераспределением связей внутри водно-катионных комплексов, заполняющих полости, что может вести к резкому изменению физико-химических свойств соединения, например, к увеличению диффузионной подвижности молекул воды, ионной проводимости и другим эффектам.

В связи с открытой недавно аномалией ионной проводимости в синтетическом цеолите NaA при сжатии его в водной среде при 1 ГПа встает задача структурной интерпретации этого явления. По имеющимся данным, относительно невысокая сжимаемость NaA в воде косвенно свидетельствует в пользу вхождения дополнительных молекул воды (сверхгидратации) без существенных деформаций каркаса и фазовых превращений. Подчеркнем, что эти данные получены для гидростатических условий сжатия цеолита в избытке воды, тогда как проводимость была измерена импедансным методом в негидростатических условиях, что предполагает более сложный механизм деформации. Здесь приводятся результаты изучения сжимаемости и структурных изменений в цеолите NaA при негидростатическом сжатии в воде до 3 ГПа.

Проведены 2 серии экспериментов: (1) квази-гидростатическое сжатие тонкокристаллического синтетического цеолита NaA в избытке чистой воды при 0-3,7 ГПа для сопоставления с предыдущими данными и (2) сжатие в негидростатических условиях, обеспечиваемых смешиванием порошка цеолита с водой примерно в равных объемных количествах (влажный NaA), что соответствует способу приготовления образца для измерений проводимости импедансным методом. Образец помещался в ячейку высокого давления с алмазными наковальнями. Порошковые дифракционные измерения проводились на 4 канале накопителя ВЭПП-3 ( $\lambda=0,3685\text{\AA}$ ), параметры элементарной ячейки (пространственная группа *Pm-3m*) и структура цеолита NaA при 0 и 0,37 ГПа уточнялись методом Ритвельда с использованием пакета программ GSAS.

Вплоть до давления 0,8 ГПа сжимаемость влажного NaA близка к таковой в гидроста-



тических условиях. При  $P \geq 1$  ГПа дальний порядок структуры цеолита нарушается (начало аморфизации), что проявляется в заметном уширении дифракционных пиков и сокращении объема ячейки по сравнению с гидростатическим сжатием. Дифракционные пики практически исчезают при 2 ГПа, что соответствует давлению аморфизации цеолита при отсутствии сжимающей среды. Отметим, что, несмотря на начало аморфизации, объем ячейки влажного NaA гораздо ближе к сверхгидратированному цеолиту в гидростатической водной среде, чем к объему «схлопнувшейся» структуры цеолита, сжимаемого в непроникающей среде. Это говорит о сохранении сверхгидратированного состояния в частично аморфизованном влажном NaA при 1-2 ГПа. После снятия нагрузки дифракционный профиль и исходный объем цеолита восстанавливаются аналогично экспериментам по импедансному измерению ионной проводимости.

Структура цеолита NaA уточнена при давлении  $P=0,37$  ГПа, отвечающем нижней границе аномального увеличения ионной проводимости. Основное отличие от структуры при нормальном давлении – возрастание заселенности водных позиций Ow1, Ow2 и Ow5, приводящее к увеличению общего содержания воды в цеолите примерно на 30%.

После сброса давления до 0 ГПа сверхгидратированное состояние цеолита NaA частично сохраняется: общее содержание воды остается на 10% выше исходного, и заселенность водных позиций Ow1, Ow2 и Ow5 выше по сравнению с исходной структурой.

Суммируя полученные данные, можно заключить, что структурный механизм индуцированной давлением аномальной проводимости в цеолите NaA включает комбинацию двух основных факторов: (1) сверхгидратацию цеолитных пор, усиливающую и создающую новые пути для внутрипоровой ионно-молекулярной диффузии, и (2) частичное разупорядочение структуры, вызванное аморфизацией в негидростатических условиях, сопровождающее, по данным других исследований, усиление проводимости в цеолитах типа LTA. Уточнение структуры при 0,37 ГПа выявило селективное дозаполнение внекаркасных водных и катионной позиций, ведущее к увеличению общего содержания  $H_2O$  в NaA на 30%. Механизм индуцированной давлением аномальной проводимости в цеолите NaA включает комбинацию двух основных факторов: (1) сверхгидратацию цеолитных пор, усиливающую и создающую новые пути для внутрипоровой ионно-молекулярной диффузии, и (2) частичное разупорядочение структуры, вызванное аморфизацией в негидростатических условиях сжатия.

### **Исследование процессов контактного плавления и эвтектической кристаллизации** (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).

Взаимодействие веществ, находящихся в твердом и жидком состоянии, проявляются в различных областях промышленности: при спекании с участием жидкой фазы, в процессах СВС, при пайке, в металлургических процессах и при механохимическом синтезе. Несмотря на важность, строгой теории взаимодействия веществ, находящихся в твердом и жидком состоянии, не существует. Контактное плавление происходит в системах, имеющих на диаграмме состояния эвтектические точки. Например, кремний плавится при температуре 1414 °С, а золото 1064 °С, но если нагреть зону контакта между золотом и кремнием выше 370 °С, то появится жидкая фаза и начнется процесс плавления.

В системе In-Sn экспериментально установлено наличие двух ограниченных областей твердых растворов на основе индия и твердых растворов на основе олова и двух промежуточных фаз:  $\beta$ , имеющей гранецентрированную тетрагональную решетку и  $\gamma$ , имеющей простую гексагональную решетку. В системе имеется эвтектика при 47 ат.% олова в сплаве, с температурой плавления 119 °С.

Фольги из исследуемых металлов толщиной 50-70 мкм накладывались рядом друг с другом, с перекрытием 0,2 мм, зажимались между покровными стеклами и помещались в держатель образца высокотемпературной камеры. Образец нагревался до температуры, превышающей на 2 °С эвтектическую, и выдерживался при этой температуре до исчез-

новения рефлексов от твердой фазы в исследуемом объеме. В дальнейшем происходило охлаждение образца со скоростью  $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{час}$ . В процессе плавления и кристаллизации производилась регистрация дифракционных картин с помощью детектора Mar345.

Для исследования распределения фаз вдоль зоны контактного плавления была предложена методика одновременного рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализа. Полупроводниковый детектор устанавливался над образцом, перпендикулярно оси пучка рентгеновского излучения. С его помощью регистрировалось возбуждаемое флуоресцентное излучение. Используемое излучение ( $E_{\text{кв}}=33,7\text{ кэВ}$ ) позволяло возбуждать К-серии флуоресцентного излучения у элементов с атомным номером меньшим, чем у йода. Таким образом, регистрировался фазовый и элементный состав вдоль зоны контактного плавления.

Появление жидкой фазы в зоне контакта двух металлов фиксировалось по движению рефлексов от кристаллитов на дифракционной картине. Движение рефлексов происходит из-за того, что жидкая фаза распространяется по границам зерен и они получают подвижность.

Система индий-олово. Через 50 минут после появления жидкой фазы на дифракционной картине остаются рефлексы от фазы индия и отдельные рефлексы от фазы  $\text{InSn}_4$ . Также на дифракционной картине фиксируется диффузное рассеяние от крупного кристаллита находящегося в неотражающем положении, вероятно  $\text{InSn}_4$ . При расширении зоны плавления до размеров пучка фиксируется дифракционная картина от расплава (гало). При снижении температуры образца ниже эвтектической точки наблюдается появление отдельных рефлексов. Через 15 минут дифракционная картина состоит из отдельных рефлексов от мелкокристаллической фазы  $\text{InSn}_4$  и двух, наложенных друг на друга картин диффузного рассеяния от кристаллитов, соизмеримых с размером пучка. Охлаждение до  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  на вид дифракционной картины влияния практически не оказывает. При отключении нагревателя и охлаждении образца с печью при промежуточной съемке в районе  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  наблюдается распад крупных кристаллитов на более мелкие кристаллиты и появление малоугловых границ. Положение дифракционных максимумов соответствуют фазе  $\text{InSn}_4$  и фазе  $\text{In}_3\text{Sn}$  со слегка деформированной решеткой.

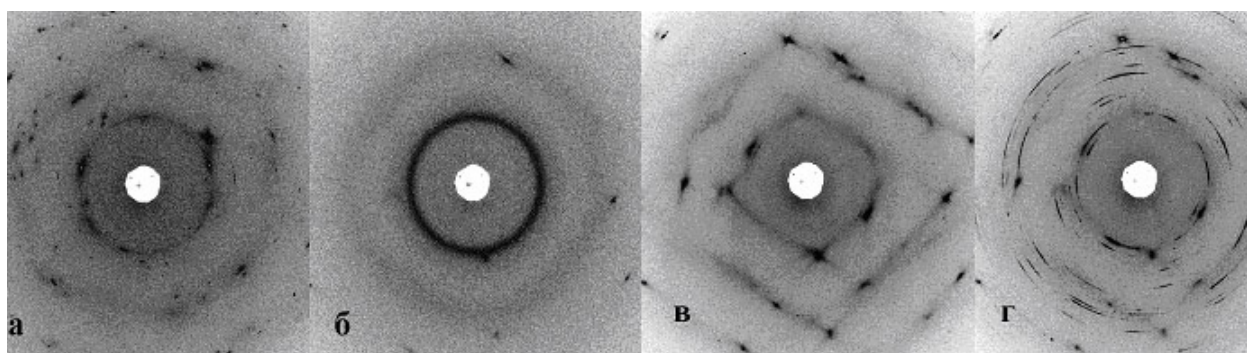


Рис. 8. Фрагменты дифракционных картин, полученных в ходе контактного плавления и последующей кристаллизации системы индий-олово: а - через 50 минут после начала плавления; б - в начале процесса кристаллизации; в - при медленном охлаждении до температуры  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; г - при температуре  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Появление на дифракционной картине диффузного рассеяния (большой шестиугольник на рис. 8а) свидетельствует об образовании монокристалла - возможной фазы предплавления. Неправильный восьмиугольник, видимый на дифракционной картине при кристаллизации эвтектической композиции, может представлять фазу предкристаллизации. Дифракционные картины на рис. 8в и 8г показывают рост и распад бикристалла соответственно.

### 6.1.6 Станция – «Рентгеновская микроскопия и томография»

Станция «Рентгеновская микроскопия и томография» предназначена для исследования трехмерной структуры образцов с высоким пространственным разрешением.

Темы работ 2009 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.

Участвующие организации:

- Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск;
- Институт геологии и минералогии СО РАН им. В.С.Соболева, Новосибирск;
- Институт гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск;
- Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск;
- Институт истории и материальной культуры РАН, Санкт-Петербург.

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».

Основой станции «Рентгеновская микроскопия и томография» является установка Bragg magnifier, работающая на принципе брэгговской дифракции от асимметрично срезанных кристаллов.

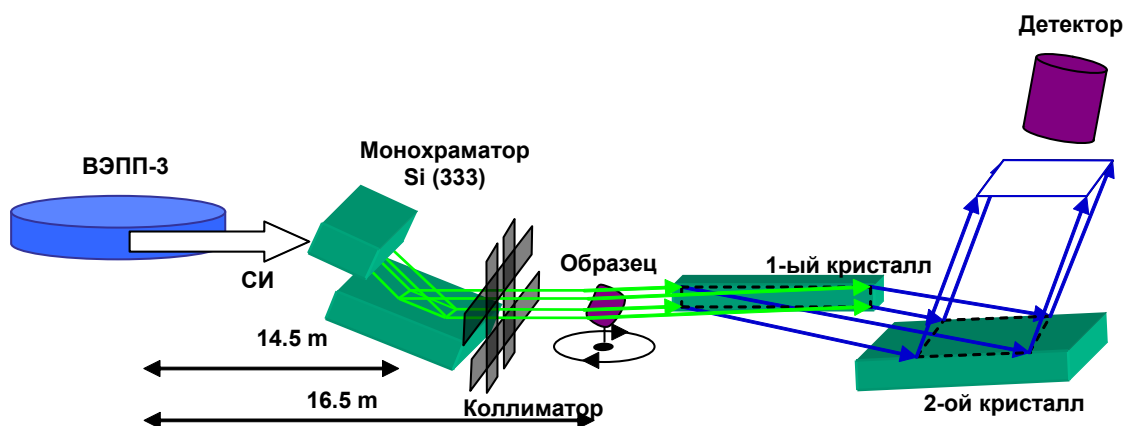


Рис. 9. Схема станции «Рентгеновская микроскопия и томография».

Дифракция от двух асимметрично срезанных кристаллов позволяет получить увеличенное изображение в рентгеновском диапазоне. При 20-кратном факторе увеличения можно регистрировать изображение с пространственным разрешением не хуже чем 2-3 мкм.

Контроль рисунка микроструктуры и состава поглощающего слоя рентгеношаблона осуществляется с использованием монохроматического излучения с длиной волны  $\lambda=0,9 \text{ \AA}$ , отвечающей максимуму спектральной интенсивности СИ на станции LIGA. Полученные

изображения позволяют напрямую осуществлять контроль качества изготовления и контраста шаблона в рентгеновском излучении.

Асимметрично срезанные кристаллы имеют кривую качения, составляющую несколько угловых секунд, отражая только те лучи, которые лежат вблизи угла Брэгга. Тем самым происходит подчеркивание деталей на границе сред, обусловленное рефракцией рентгеновского излучения в исследуемом объекте. Рефракционный контраст позволяет получать качественные изображения объектов, не контрастных в рентгеновском диапазоне. Это свойство работающей установки очень важно при исследовании состава энергетических материалов (ЭМ), таких как ракетное топливо, и взрывчатых веществ, слабо поглощающих рентгеновское излучение.

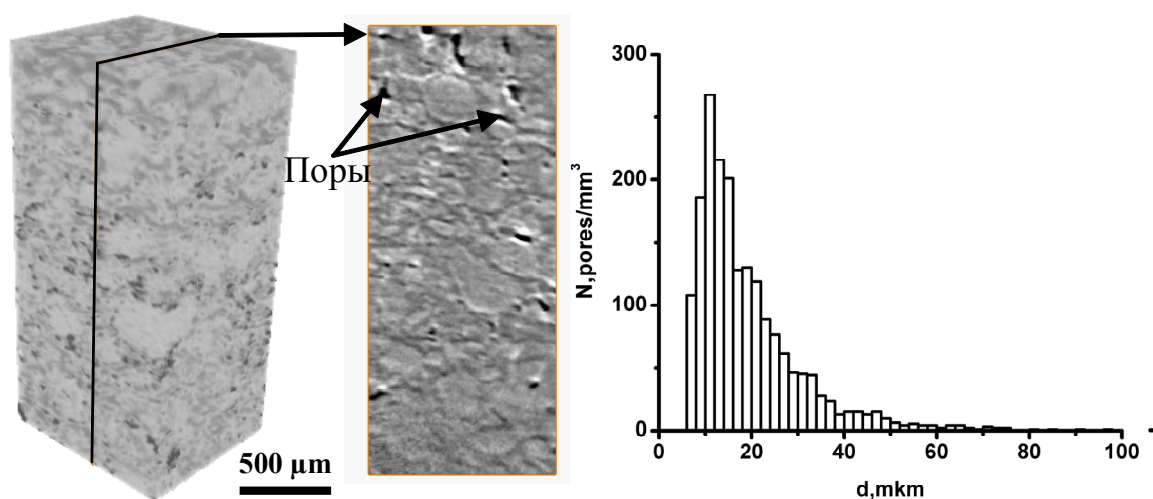


Рис. 10. 3D-изображение ЭМ с графиком объемного распределения размеров пор.

Исследование трехмерной структуры ЭМ с помощью ВРТ позволяет оценить качество изготовления на основе объемного распределения плотности в изучаемом объекте. Приведенные рентгеновские томограммы (рис. 10) показали возможность получения распределения пор размером от 5-6 мкм. Наличие неоднородностей и пор влияет на скорость горения и распространения детонационного фронта, являясь важным параметром при изготовлении ЭМ. Отличительная особенность такого подхода при исследовании ЭМ - возможность рассматривать внутреннюю структуру в произвольной плоскости и под любым углом.

Совместно с Институтом геологии и минералогии СО РАН были продолжены работы по изучению морфологии природных алмазов из кимберлитовых трубок и россыпей Якутской алмазоносной провинции. С помощью метода рентгеновской топографии (РТ) были получены данные о дефектах, связанных с нарушениями строения кристаллической решетки алмаза.

Кроме того, РТ является идеальной технологией при изучении ростовых дислокаций в синтетических алмазах, невидимых при исследованиях с помощью анизотропного травления. На рис. 11 представлены примеры топограмм, полученных для природного и синтетического алмаза.

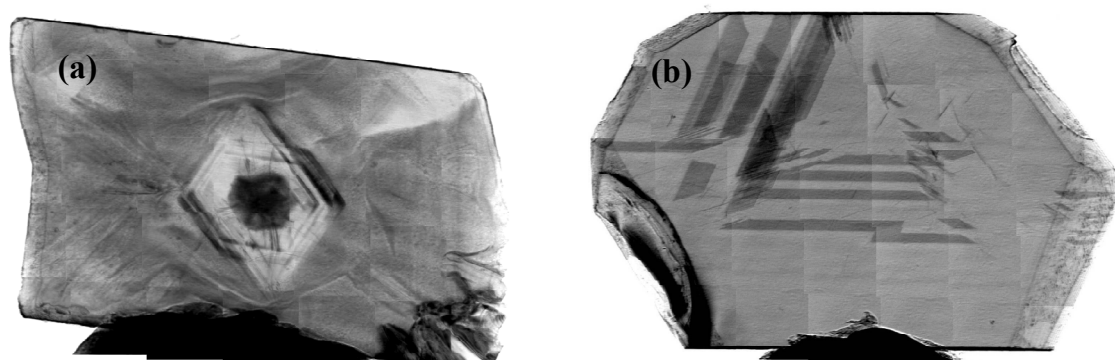


Рис. 11. Рентгеновские топограммы природного (а) и синтетического (b) алмаза.

С помощью метода ВРТ с использованием полихроматического излучения (40-80 кэВ) были изучены археологические находки, найденные в верховьях Лены (рис. 12). На основании полученных можно делать выводы о культуре и ареале распространения человека в эпоху палеолита.

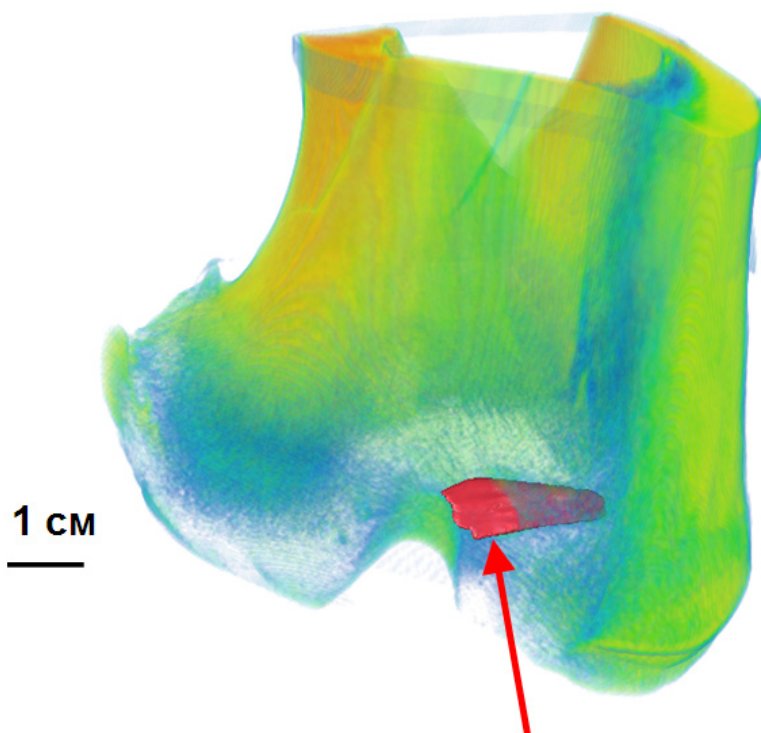


Рис. 12. Наконечник копья древнего человека в кости бизона, найденной в верховьях Лены (рентгеновская томограмма).

### 6.1.7 Станция – «Дифракционное кино»

Станция предназначена для исследования фазовых превращений в процессе химических реакций с участием твердых тел, получение как качественных (стадийность фазообразования), так и количественных (кинетика) параметров этих реакций. На установке можно проводить исследования как в области больших (WAXS), так и в области малых углов (SAXS).

Участвующие организации:

- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск.
- Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск.

- Институт проблем переработки углеводородов СО РАН.

В мае 2009 года на станции был установлен двухкоординатный детектор MarCCD (SX165) с гониометром mardtb. Время считывания данных (мертвое время) составляет 3-5 с, что существенно меньше, чем у Mar345, основанного на ImagePlate технологии. Таким образом, можно с хорошим временным разрешением исследовать процессы, протекающие за десятки секунд. Поскольку регистрируется полный дифракционный конус, то:

- 1) интегрированием по кольцу можно значительно улучшить статистику,
- 2) возможно получение информации о текстуре и зернистости образца.

Кроме того, используемая длина волны (порядка 1,5 Å) позволяет зарегистрировать дифракционную картину в области малых углов для  $d \sim 100-150 \text{ \AA}$ . Колимационная система mardtb обеспечивает формирование узкого пучка СИ, что актуально для исследований с большим пространственным разрешением.

Работы, проводившиеся на станции в 2009 году:

1. Исследование образования упорядоченных структур из наночастиц серебра при разложении его карбоксилатов (ИХТТМ СО РАН).
2. Изучение закономерностей образования наночастиц благородных металлов при разложении сложных комплексных солей (ИНХ СО РАН, работа проводилась в рамках гранта РФФИ № 08-03-00603-а).
3. Исследование фазового состава замороженного фронта реакции поверхностного самораспространяющегося синтеза катализаторов (Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, работа проводилась в рамках гранта РФФИ № 08-03-00355-а).

Примеры работ:

#### **Определение размеров получаемых фотонных кристаллов при формировании кристаллов из наночастиц серебра.**

Работа является продолжением ранее начатых исследований по синтезу так называемых коллоидных кристаллов, состоящих из упорядоченных монодисперсных наночастиц серебра, в целях отработки технологии получения фотонных кристаллов.

Технологический процесс синтеза фотонных кристаллов включает (рис. 13):

1. выбор исходного материала, исследование процессов фазовых переходов в карбоксилатах серебра и формирования среды, оптимальной для образования монодисперсных частиц серебра;
2. контроль и управление процессом самосборки фотонных кристаллов размером до 25 мкм;
3. исследование структуры полученных фотонных кристаллов.

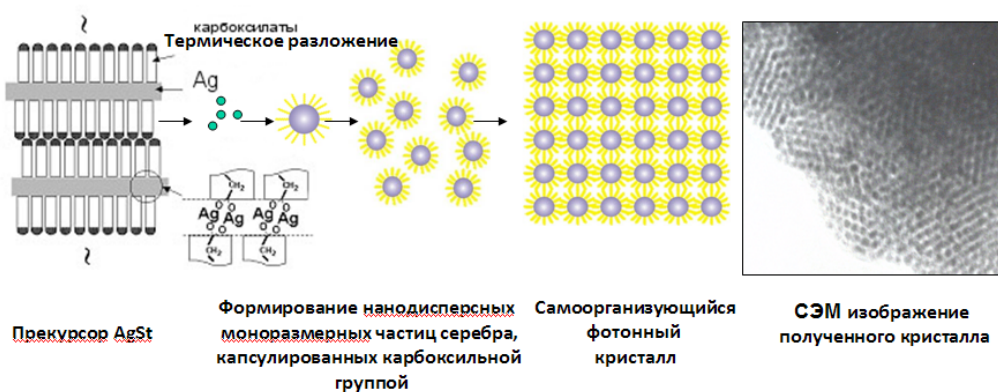


Рис. 13. Технологический процесс синтеза фотонного кристалла из капсулированных наночастиц серебра.

Ранее исследования термически индуцированных фазовых переходов в карбоксилатах серебра, проведенные с использованием однокоординатного детектора ОД-3 показали, что образующиеся при термическом разложении капсулированные наночастицы серебра имеют одинаковый размер и формируют упорядоченную структуру.

Использование двухкоординатного детектора MarCCD позволило определить размер конечного продукта - самоорганизующихся фотонных кристаллов путем уменьшения апертуры коллиматора пучка СИ вплоть до перехода от дифрактограммы “поликристаллического” образца к дифрактограмме “монокристалла”.

Образец, полученный нагревом стеарата серебра был охлажден и помещен в держатель образца двухкоординатного детектора MarCCD. Полученная дифрактограмма при освещении образца рентгеновским пучком размером 200x300 мкм представлена на рис. 14а. Затем размер пучка был поэтапно уменьшен до 25x25 микрон. Дифрактограмма представлена на рис. 14б.

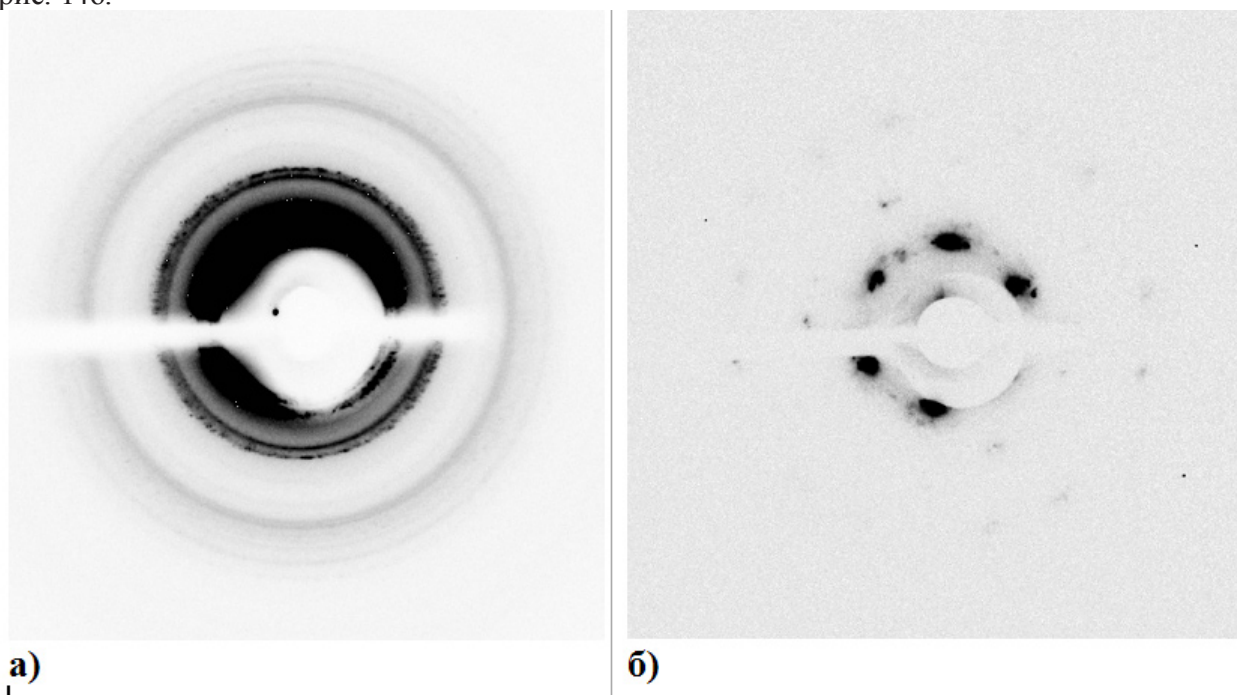


Рис. 14. Двухмерные дифрактограммы синтезированных структур из капсулированных наночастиц серебра: а) размер пучка СИ 200x300 мкм, б) – 25x25 мкм.

Сравнение этих картин показывает, что когда размер пучка большой, то количество кристалликов, попавших в него, велико и они дают дифракционные кольца – типичную дифрактограмму поликристаллического объекта. При существенном уменьшении размера пучка, количество кристалликов уменьшается вплоть до одного, дающего дифракционную картину как от монокристалла. Таким образом, размер получаемого кристаллика для данной упорядоченной структуры должен быть порядка (не более) 25 мкм. Данный эффект можно было обнаружить только с помощью двухкоординатного детектора.

### 6.1.8 Станция «EXAFS-спектроскопия»

Назначение станции - исследование структуры локального окружения атомов избранного химического элемента (координационное число, межатомные расстояния). В зависимости от применяемой методики анализируются: объем, поверхность либо поверхностные слои.

Участвующие организации:

- Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск;

- Институт физической химии им. Л.В. Писаржевского НАН, Киев, Украина;
- Московский Государственный университет им. Ломоносова, факультет наук о материалах, Москва;
- Физико-Технический институт УрО РАН, Ижевск;
- Удмуртский Государственный университет;
- Институт Хана и Майтнер, Берлин, Германия;
- Институт спектроскопии РАН, Троицк;
- Институт физики твердого тела и полупроводников, Минск, Белоруссия;
- Саратовский государственный университет;
- Институт общей и неорганической химии РАН, Москва;
- Институт нефтехимического синтеза РАН, Москва;
- Институт материаловедения, Севилья, Испания.
- Университет Севилья, Испания.

Работы финансировались в рамках Программы Президиума РАН № 27 “Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов” и гранта Федерального агентства по науке и инновациям (контракт ФАНИ № 02,513,11,3203), грантов РФФИ, полученных в 2008 году: 08-03-01016а, АФ-080391758а, 08-03-92502-НЦНИЛа, 08-03-00823а, 08-03-01150а, 08-02-00404а, 08-03-00603а и новых, полученных в 2009 году: 09-03-01012а, 09-03-90424-Укр\_ф\_а, 09-03-00089а, 09-03-00133а, 09-03-00328а, 09-03-00514а, 09-05-98019а, 09-03-00780а, 09-03-00346а.

### **Основные направления и краткие результаты работ 2009 года:**

1. Методом XAFS спектроскопии для широкого ряда модельных и реальных нанесенных (оксидных и металлоксидных) гетерогенных каталитических систем Pt, Pd, Ru, Au, Pd-Ce, Pd-Co, Pd-Mn, Au-Ce-Zr, Au-Ce, Cu-Zr-Ce и других (катализаторы окисления CO и углеводородов, гетерометаллические поликомпонентные наноструктурированные катализаторы превращения промышленно-важных субстратов, таких как метанол, метан, этанол и других) выполнено исследование генезиса и особенностей формирования активного компонента. Для проведения корректного структурного XAFS исследования и разработки эффективных методов формирования активного компонента с заданными структурно-функциональными свойствами выполнен направленный поэтапный синтез модельных соединений, являющихся предшественниками данных систем. Дополнительно для всех синтезированных соединений было проведено комплексное исследование различными физико-химическими методами РФА, ПЭМ, РФЭС и др. В итоге, для исследованных систем, получены новые данные о морфологии, атомной структуре, локальной структуре, зарядовом состоянии и симметрии ближайшего окружения, состоянии компонентов и фазовом составе. Данная уникальная информация позволила разработать новые эффективные методики нанесения модифицированных высокодисперсными металлооксидными каталитическими системами покрытий (из неорганических и металлорганических прекурсоров; на основе золь-гель метода и различных моно- и гетероядерных металло-комплексов) на оксидные подложки различной природы.
2. Проведено комплексное структурное исследование особенностей формирования активного компонента высокодисперсной Pd-содержащей каталитической наносистемы (углекислотного риформинга метана в синтез-газ), стабилизированной на матрице TiO<sub>2</sub> методами XAFS спектроскопии, РФА, РФЭС. Наноккомпозит был приготовлен из биметаллического предшественника PdCo(μ-OOCMe)<sub>4</sub>(NCMe) и PdMn(μ-OOCMe)<sub>4</sub>(NCMe), с последующей обработкой несколькими способами: прокалка на воздухе и в аргоне, облучение СВЧ. Детально исследован генезис и локальная структура приготовленных различными способами Pd-содержащих катализаторов. Подробно рассмотрены возможные варианты структурных моделей.
3. Проведено исследование состояния и структуры активного компонента медно-



циркониевого катализатора методами XAFS спектроскопии, рентгеновской дифракции, РФЭС и UV. Модельные катализаторы с различным содержанием меди (1-10%) были приготовлены методом пропитки на стабилизированном иттрием тетрагональном оксиде циркония. Установлено, что малая часть меди локализована в виде отдельных ионов, растворенных в приповерхностных слоях кубической решетки оксида  $ZrO_2$ , тогда как большая часть меди существует в виде линейных цепочек, стабилизированных на поверхности носителя. Выполнено исследование модельного медно-цериевого катализатора, нанесенного на моноклинный оксид циркония методами XAFS спектроскопии и XRD. Установлен оптимальный состав катализатора для реакции совместной конверсии CO и водорода. Детально изучены формы стабилизации меди, локализованные на поверхности катализатора. Показано, что при малых покрытиях (не более 5%) ионы меди локализованы преимущественно на поверхности  $CeO_2$ . Увеличение покрытия до 10% и выше приводит к образованию объемной фазы CuO на поверхности катализатора и вследствие этого к понижению активности.

4. Методами EXAFS спектроскопии, рентгеновской дифракции и электронной микроскопии высокого разрешения выполнено исследование особенностей формирования нитевидных наноструктур германия. В качестве основного метода синтеза данных структур применялся метод термического испарения материала на мезопористые пленки оксида алюминия, полученные анодным окислением и используемые в качестве темплата. Контрольный синтез проводился при тех же температурах напыления на гладкие пленки оксида алюминия, кварца и кремния. Синтезируемые материалы характеризуются высокой степенью упорядоченности отдельных структур нанометрового размера в пределах массива матрицы оксида алюминия. В ходе отработки режимов получения установлено, что длина нитевидных наноструктур Ge зависит от температуры матрицы, на которую производится напыление. В диапазоне температур от  $-150\text{ }^\circ\text{C}$  до  $150\text{ }^\circ\text{C}$  материал не успевает проникать достаточно глубоко в поры матрицы. При более высоких температурах, адгезия напыляемого материала к материалу матрицы ухудшается, что позволяет парам более глубоко проникнуть в поры. Установлено, что нитевидные наноструктуры германия в матрице состоят из более мелких аморфных кластеров, в сравнении контрольными образцами, полученными при таких же температурах. После отжига при температуре  $450\text{ }^\circ\text{C}$  в атмосфере аргона германий кристаллизуется, а после отжига на воздухе происходит полное окисление исследуемых наноструктур.

5. Выполнено структурное XAFS исследование наносистемы PdO– $CeO_2$  после восстановительных и окислительных предобработок в сравнении с монометаллическими аналогами, нанесенными на оксид алюминия. В результате исследования разработан новый метод приготовления высокодисперсной смешанно-оксидной наносистемы PdO– $CeO_2$ , стабилизированной на оксидном носителе. Новый подход к синтезу, обеспечивающий непосредственный контакт наночастиц PdO с  $CeO_2$  на поверхности носителя, заключается в использовании в качестве предшественника гетерометаллического комплекса  $PdII_2CeIV_2(m-OOCMe)_{12}(H_2O)_2$ . Показано, что сильное взаимодействие между Pd и оксидом церия влияет на способность к восстановлению как PdO, так и  $CeO_2$ , что, в свою очередь, приводит к увеличению низкотемпературной активности в окислении CO при резком изменении вида кривой зажигания-затухания.

6. Проведено структурное EXAFS исследование упорядоченных массивов наноточек ZnSe, полученных методом термического напыления материала на матрицы мезопористого оксида алюминия с упорядоченным расположением каналов. Дополнительно система была исследована методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения и XRD. Получены новые данные о геометрических размерах наноточек в массиве, а также параметры локальной атомной структуры, межатомные расстояния и координационные числа в сравнении с данными для пленок ZnSe, синтезированных на гладкой поверхности непористого  $Al_2O_3$ . На основании анализа полученных данных, установлено, что

наноточки селенида цинка представляют собой мелкие нанокристаллические включения нестехиометрического состава в аморфную фазу материала матрицы.

Всего за 2009 год по работам, проведенным на станции EXAFS-спектроскопии, опубликовано и принято к печати 28 публикаций, включая статьи в рецензируемых журналах (18), статьи в сборниках трудов конференций (10). Сделано более 15 докладов на научных конференциях.

Примеры работ 2009 года:

**Исследование генезиса нанесенных золотых наносистем, стабилизированных на смешанных оксидных матрицах.**

Известно, что золото, в силу своей электронной структуры, является наиболее химически инертным среди металлов платиновой группы, однако диспергированные в различных матрицах золотые наноразмерные образования проявляют высокую каталитическую активность во многих промышленно важных реакциях. Очевидно, что развернутый и достоверный анализ природы золотых образований очень важен для разработки новых эффективных золотых катализаторов для различных приложений.

Выполнено исследование генезиса образований золота, полученных при нанесении золота на наноразмерные смешанные оксиды алюминия, церия и циркония, приготовленные методом золь-гель, используя металлоорганические соединения этих металлов. Согласно комплексному анализу данных XAFS-спектроскопии, с привлечением данных электронной спектроскопии диффузного отражения (ЭСДО), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) смешанные оксиды Al–Ce–Zr–O, приготовленные методом золь-гель, являются высокоэффективным материалом для стабилизации различных форм золота: катионов золота  $Au^{3+}$ , локализованных на поверхности носителя в незначительно искаженной октаэдрической координации для образцов, обработанных водородом при 150 °С; металлических наночастиц золота с размером около 2 нм, а также кластеров золота диаметром менее 1 нм в образцах, восстановленных водородом при 300 °С.

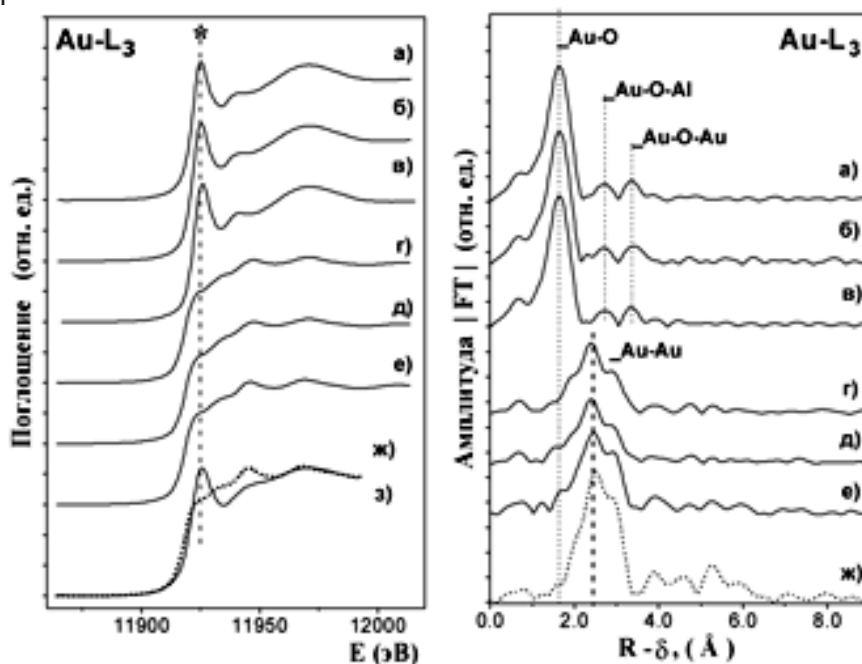


Рис. 15. Спектры XANES (Au-L<sub>3</sub> край, \* - пунктирная линия) и функции радиального распределения атомов (РРА) локального окружения золота для исследованных образцов и образцов сравнения (реперов): а) Au-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 150 °С; б) Au-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CeZrO<sub>2</sub>, 150 °С; в) Au-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CeO<sub>2</sub>, 150 °С; г) Au-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 300 °С; д) Au-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CeZrO<sub>2</sub>, 300 °С; е) Au-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CeO<sub>2</sub>, 300 °С; ж) золотая фольга - Au<sup>0</sup> (пунктир, \*0,5); з) оксид золота - Au<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### Исследование особенностей формирования активного компонента нанесенных низкопроцентных платиновых каталитических наносистем.

Известно, что платина является одним из наиболее активных и стабильных катализаторов окисления CO и углеводородов. Вследствие этого система Pt/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> широко используется для окислительной очистки отходящих газов промышленных предприятий и выхлопных газов автомобильных двигателей. Очевидно, что размер частиц и состояние платины в катализаторах являются ключевыми факторами управления каталитической активностью через изменение природы активных центров, а сами эти параметры задаются подходящей процедурой приготовления катализаторов.

На примере серии нанесенных на  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> высокодисперсных низкопроцентных платиновых катализаторов с различным размером частиц активного компонента показана возможность регулирования состояния нанесенной платины на поверхности носителя при варьировании условий приготовления катализатора. Для исследования локальной структуры и электронного состояния нанесенной платины использован метод XANES/EXAFS спектроскопии. Дополнительно образцы были охарактеризованы методом просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ПЭМВР). Показано, что на поверхности носителя могут быть получены различные формы платиновых частиц - объемные или поверхностные оксиды Pt(II) или Pt(IV), смешанные металл-оксидные структуры, объемные частицы металлической платины и плоские поверхностные частицы Pt<sup>0</sup>, сильно взаимодействующие с носителем.

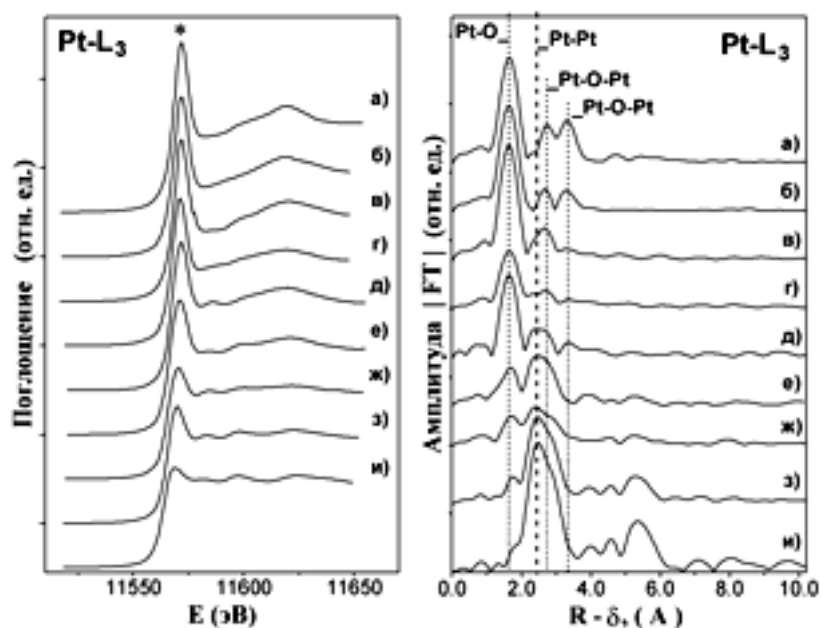


Рис. 16. Спектры XANES ((Pt-L<sub>3</sub> край, \*-пунктирная линия) и функции радиального распределения атомов (РРА) локального окружения платины для исследованных образцов катализаторов Pt/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и образцов сравнения: а) PtO<sub>2</sub>; б) II; в) I; г) III; д) IV; е) V; ж) VI; з) VII; и) Pt фольга (\*0,5).

## 6.2 Работы на пучках СИ из ВЭПП-4

### 6.2.1 Станция метрологии в ВУФ и мягком рентгене «Космос»

#### Испытания ВТСП болометра на пучке СИ.

Участвующие организации: ИЯФ СО РАН, ФГУП ГОИ (С.-Петербург).

Работа выполнялась в рамках проекта МНТЦ 2920.

На станции был установлен прототип эталонного детектора, представляющего собой болометр со сверхпроводящей пленкой в качестве измерителя температуры. Измерение интенсивности падающего излучения основано на принципе замещения лучистой мощностью, поглощенной в подложке чувствительного элемента болометра, электрической мощностью нагревателя, расположенного на его лицевой стороне. Детектор изготовлен совместно с ГОИ (Петербург) в рамках выполнения проекта МНТЦ. Проведено испытание болометра на белом пучке СИ. В ходе испытаний мощность входного пучка варьировалась в пределах 135 мкВт - 3 мкВт путем снижения тока накопителя (в пределах 900-55 мкА) и введением в пучок пленочных фильтров различной проницаемости.

Минимальная зарегистрированная мощность составила 3,2 мкВт, при этом соотношение сигнал/шум составило 1/2. Фактором, ограничивающим обнаружительную способность болометра, в данном эксперименте явились флуктуация темнового сигнала.

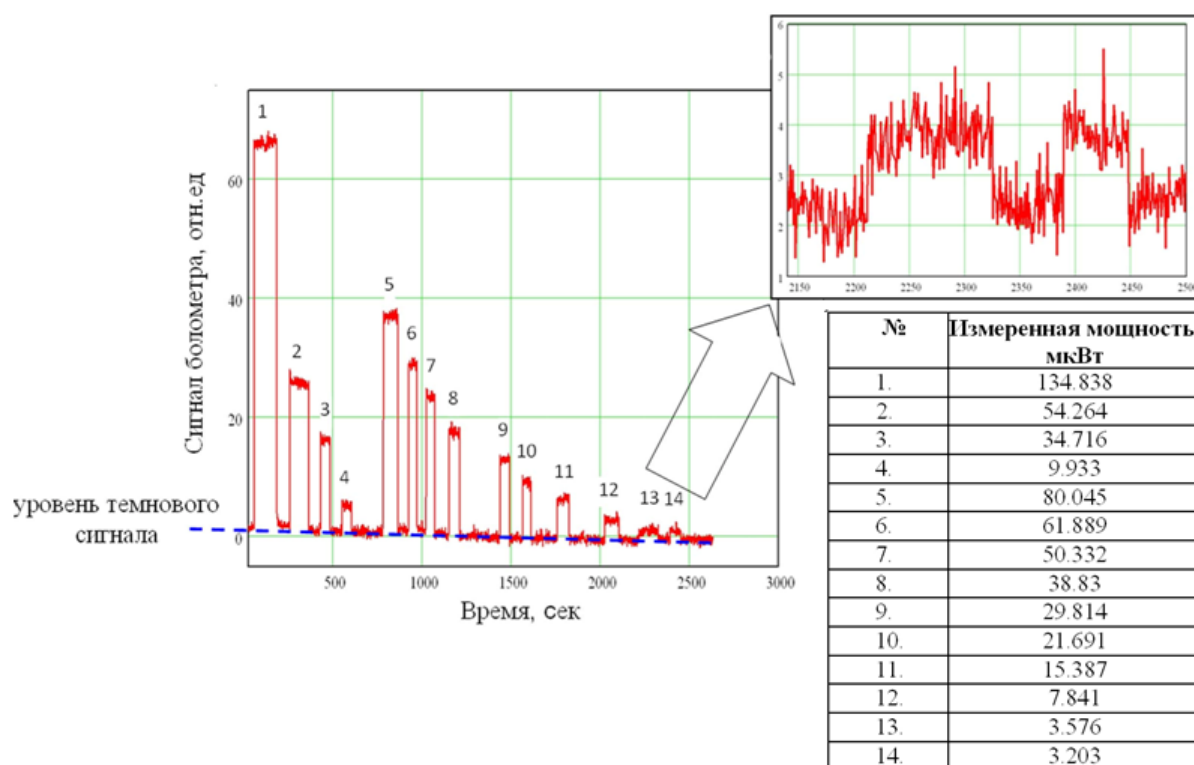


Рис. 17. Результаты испытания ВТСП болометра на пучке СИ.

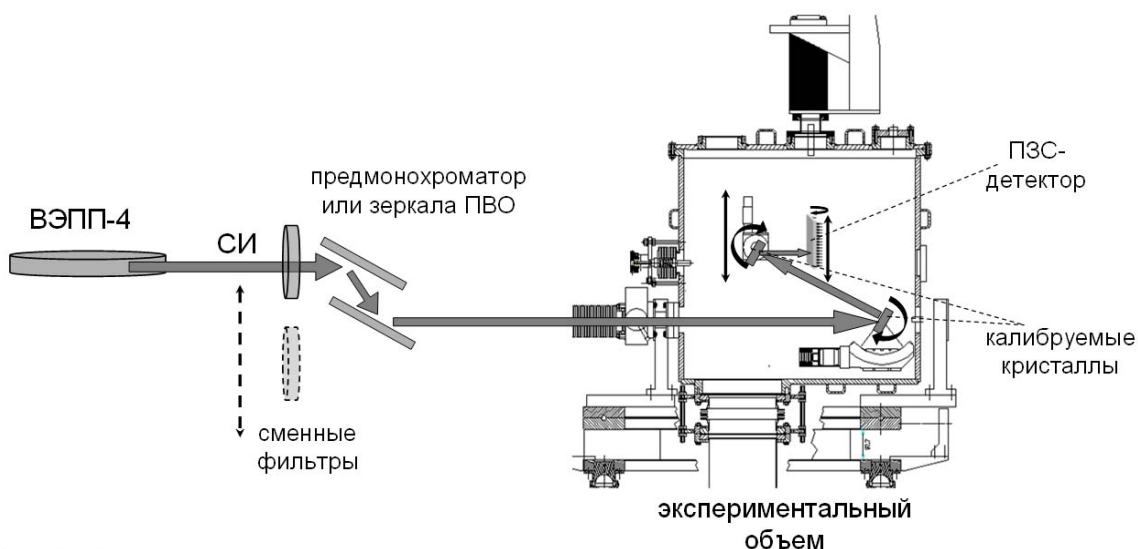
Результат выполнения работы:

Продемонстрирована работоспособность прибора в условиях работы на реальном пучке СИ. После доведения болометра до предельных параметров (предельная обнаружительная способность - 10 нВт), сравнения его показаний с подобным прибором в РТВ (Берлин, Германия) и его формальной сертификации станция метрологии получит абсолютный детектор, который будет использован в качестве первичного стандарта при калибровке других типов детекторов.

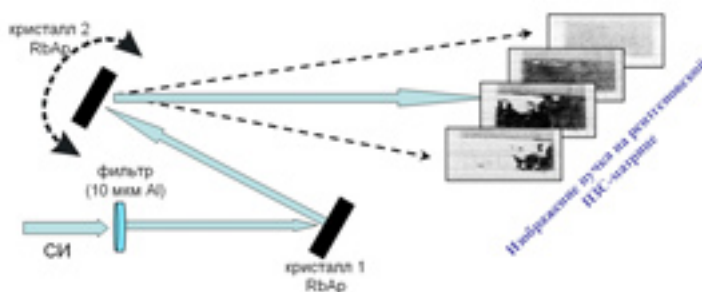
## 6.2.2 Предварительная аттестация кристаллов для монохроматора.

Участвующие организации: ИЯФ СО РАН, ФИ РАН им. Лебедева (Москва).

В экспериментальном объеме станции установлен и запущен рефлектометр, позволяющий реализовывать различные оптические схемы по калибровке рентгеновской оптики. В состав рефлектометра входит набор из трех угловых и одной линейной моторизированных подвижек, позволяющих реализовывать различные оптические калибровочные схемы. Измерительные потребности рефлектометра обеспечиваются набором полупроводниковых детекторов типа AXUV (производства IRD Inc., США) и SPD (разработчик - ФТИ им. Иоффе, Санкт-Петербург) и двухкоординатным детектором на основе ПЗС-матрицы "e2v CCD47-20" с пространственным разрешением 13 мкм. Электроника детектора разработана ФИ РАН.



Первые результаты получены при аттестации кристаллов для изображающего телескопа космического базирования, проектируемого в ФИ РАН им. Лебедева. Белый пучок СИ проходил через 10-мкм алюминиевый фильтр и последовательно отражался от двух параллельных кристаллов. Измерялась интенсивность пучка после его отражения сначала от первого, а затем от второго кристаллов. Отношение интенсивностей дало пиковый коэффициент отражения. Путем изменения угла второго кристалла относительно первого измерена его кривая качания и определено спектральное разрешение. Наилучший результат продемонстрировали кристаллы бифталата рубидия RbAP (химическая формула  $C_6H_4(COOH)(COORb)$ ).



Работа велась во втором порядке отражения от плоскости 001, что соответствовало энергии 991,3 эВ (угол Брэгга -  $75^\circ$ ). Измеренный пиковый коэффициент отражения кристаллов составил 1,2 %, относительное спектральное разрешение -  $\Delta E/E = 3 \cdot 10^{-4}$ . По морфологии пучка СИ, отраженного от кристаллов, проведена оценка их качества.

Результаты выполнения работы:

Методический: На станции запущен в эксплуатацию рефлектометр нормального падения.

Практический: Измерен коэффициент отражения кристаллов, их спектральное разрешение, даны рекомендации по использованию этих кристаллов в составе рентгеновского телескопа.

## 6.3 Работа с пучками терагерцового излучения

### 6.3.1. 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 2009 году Новосибирский ЛСЭ работал на пользователей около 710 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 составляла 50–150 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 2009 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 физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Института теоретической и прикладной механики СО РАН, Конструкторско-технологического института научного приборостроения, Института оптики атмосферы СО РАН (Томск), 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 2009 года была организация регулярных работ на шести рабочих станциях пользователей. Второй задачей был запуск второй очереди Новосибирского ЛСЭ.

### 6.3.2. Экспериментальные станции на пучках ТГц излучения

**Станция «Метрология»** предназначена для диагностики, контроля и оптимизации параметров излучения ЛСЭ и проведения физических экспериментов с этим излучением. В 2009 году проводились следующие работы.

1) Исследовалось взаимодействие излучения субмиллиметрового диапазона с мелкими уровнями ловушек в узкозонном полупроводнике-сегнетоэлектрике  $\text{PbSnTe:In}$  при гелиевых температурах в условиях преобладания инжекции электронов из контактов и ограничения тока пространственным зарядом. В зависимости от уровня инжекции и длины волны излучения наблюдалось как увеличение, так и уменьшение тока со сложной динамикой его изменения при «включении» и «выключении» освещения лазером. Полученные результаты находят объяснение в рамках модели, учитывающей сложное распределение уровней ловушек по энергии в запрещенной зоне, которые имеют различное сечение захвата электронов, и неоднородность электрического поля между катодом и анодом в условиях ограничения инжекционного тока пространственным зарядом. Работа выполнена сотрудниками Инсти-

тута физики полупроводников и ИЯФ СО РАН в рамках проекта РФФИ 07-02-01336-а «Изучение взаимодействия субмиллиметрового излучения с фононной подсистемой PbSnTe: In вблизи точки сегнетоэлектрического фазового перехода», проекта №20 «Создание высокочувствительных фотоприемников на основе пленок PbSnTe:In для оптических методов и спектроскопии в терагерцовом диапазоне частот» программы Президиума РАН №27, и проекта №34 «Исследование спектра электронных состояний в наногетероструктурах Si/CaF<sub>2</sub>/BaF<sub>2</sub>/PbSnTe:In» программы Президиума РАН №27.

2) Исследовались спектральные свойства двумерных массивов оптически активных структур на основе трехмерных микрооболочек. Получены углы вращения линейной поляризации терагерцового излучения до  $\pm 17$  град/слой в образцах площадью 1x2 см<sup>2</sup>. Измерены спектры дихроизма, пропускания и отражения для волн линейной и двух круговых поляризаций. Исследованы свойства этих структур как метаматериалов. Показано, что на определенных частотах эффективный показатель преломления объемного материала, созданного на основе измеренных слоев, может достигать отрицательных значений. Работа выполнена сотрудниками Института физики полупроводников и ИЯФ СО РАН в рамках проекта 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» и междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 24 «Метаматериалы на основе прецизионных микро- и наноболочек для терагерцового и инфракрасного диапазонов».

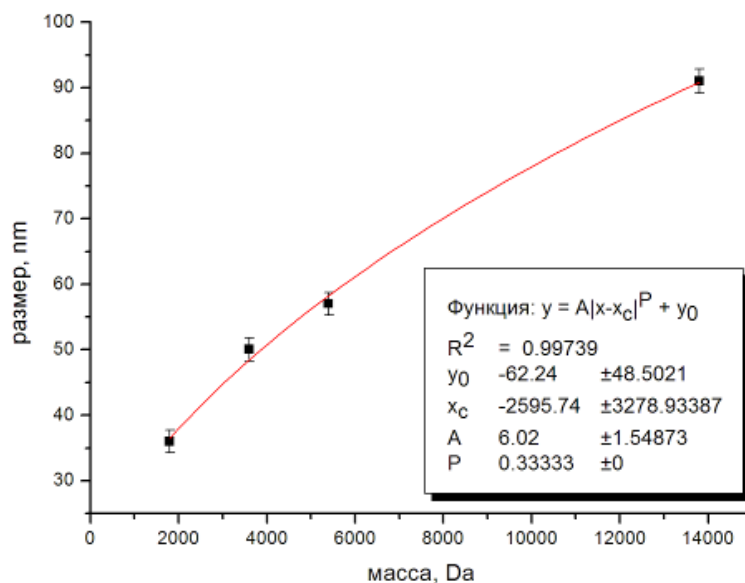
**Станция физико-химических и биологических исследований** предназначена для изучения воздействия излучения на микро и нанобъекты и исследования продуктов абляции нуклеиновых кислот, белков и ферментов, полимеров и минеральных кластеров.

В 2009 году работы с биологическими объектами на этой станции и Станции «Химия» проводились при финансовой поддержке в рамках грантов: Проект 27.8/69 Программы РАН «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов», междисциплинарный интеграционный проект СО РАН №39, грант РФФИ № 09-02-12100.

Открытое в Новосибирском Центре коллективного пользования терагерцовым излучением явление мягкой абляции позволяет бездеструктивно переводить в аэрозольную фазу сложные биологические макромолекулы, генерировать аэрозольные наночастицы из порошков и коллоидных растворов. Для практического применения данного явления необходимо провести сравнительное исследование фракционного состава образующихся аэрозольных наночастиц с размерами исходных молекул и кластеров, определенными традиционными методами.

Определение масс биологических макромолекул на сегодняшний день является трудоемкой и дорогостоящей процедурой. Явление мягкой абляции, возможно, позволит значительно упростить и ускорить процесс молекулярного взвешивания. Для исследования возможности сопоставления размерам биомолекул в аэрозольной форме молекулярных масс были проведены исследования фрагментов ДНК  $\lambda$ -hind. Исследовались четыре монодисперсные фракции этой ДНК с известными массами. Для эксперимента был взят коммерчески доступный препарат ДНК фага лямбда, гидролизованной рестриктазой HindIII (НПО «Сибэнзим»). Было проведено электрофоретическое разделение препарата в 1% агарозном геле, из которого далее препаративно выделены отдельные фрагменты ДНК-гидролизата. Проводилась абляция данных образцов под действием излучения лазера на свободных электронах с параметрами:  $\lambda = 128 \pm 2$  мкм, длительность импульса 50 пс, частота 5,6 МГц, мощность 20 Вт.

С увеличением массы увеличивался и размер, а полученную зависимость размеров от масс (рис. 18) можно аппроксимировать функцией пропорциональной корню кубическому из диаметра [1].

Рис. 18. Размеры и массы четырёх фракций ДНК  $\lambda$ -hind.

Явление неразрушающей абляции [2] также может быть использовано для контролируемой генерации нанобъектов различного происхождения в аэрозольной фазе с целью дальнейшего их научного и технологического использования: нанесение покрытий, определение размеров, исследование биологической и каталитической активности и т.д.

Проведенные за отчетный период сравнительные эксперименты с нанопорошками различного происхождения показали, что терагерцовое излучение лазера на свободных электронах (ЛСЭ) в паре с диффузионным спектрометром аэрозолей [3] дает более точную и детальную информацию об их размерах по сравнению с традиционными методами электронной микроскопии и динамического светорассеяния. Поскольку наш метод не требует сложных процедур пробоподготовки и позволяет определять размеры частиц за 10 минут, мы полагаем, что разработка этого метода будет чрезвычайно полезна нашему научному сообществу, занимающемуся созданием и исследованием нанобъектов биологического и неорганического происхождения.

Эксперименты проводились с коммерчески доступными нанопорошками окиси кремния (таркосил, производство ИЯФ) и синтетических алмазов (НПО «Алтай»). Образцы исследовались методами электронной сканирующей (SEM), атомно-силовой микроскопии (AFM), динамическим светорассеянием (DLS) и нашим методом.

На рис. 19 и 20 приведены результаты сравнения размерных распределений образцов, полученные указанными методами [4].

Таким образом, на основании проведенного сравнительного исследования показано, что метод неразрушающей терагерцовой лазерной абляции дает результаты сопоставимые с другими методами определения размеров наночастиц, при этом является более оперативным и более информативным, требует минимальной пробоподготовки. Для дальнейшего развития методики требуется расширение круга исследуемых веществ и материалов, с целью установления области применения метода и его возможных ограничений. На наш взгляд, метод неразрушающей лазерной абляции может найти широкое применение в различных нанотехнологических приложениях.



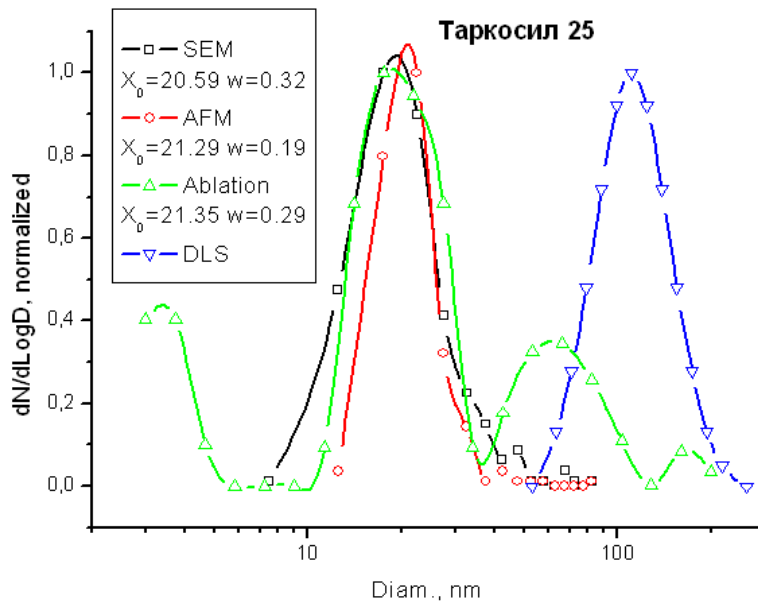


Рис. 19. Сравнение размерных распределений нанопорошка двуокиси кремния (таркосил), полученных методами неразрушающей абляции (Ablation), динамического светорассеяния (DLS), атомно-силовой (AFM) и сканирующей электронной микроскопии (SEM). На рисунке приведены размеры основных фракций в нанометрах.

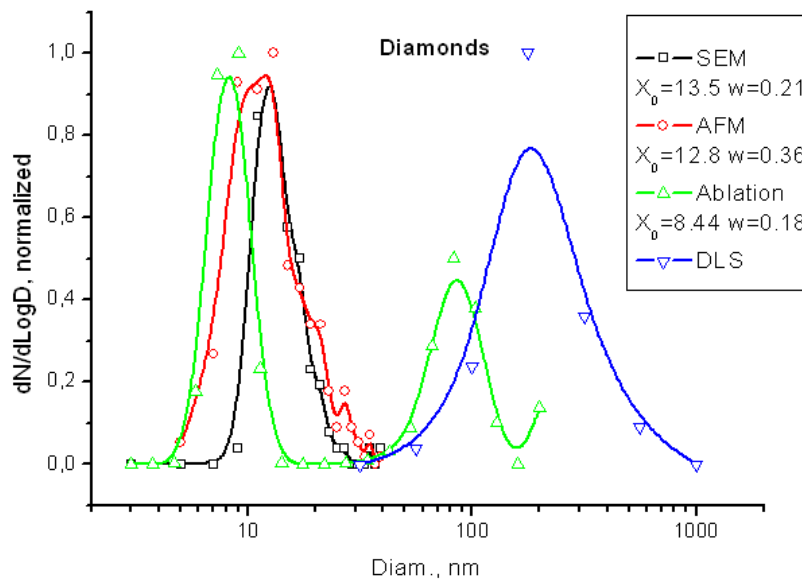


Рис. 20. Сравнение размерных распределений алмазного нанопорошка (НПО Алтай), полученных методами неразрушающей абляции (Ablation), динамического светорассеяния (DLS), атомно-силовой (AFM) и сканирующей электронной микроскопии (SEM). На рисунке приведены размеры основных фракций в нанометрах.

Всего за отчетный период зарегистрировано 180 спектров аэрозоля, полученных в результате абляции, исследовано 80 различных образцов. В работе участвовали сотрудники Института химической кинетики и горения, Института цитологии и генетики и ИЯФ СО РАН.

#### Литература

[1] М.С. Вагин, А.С. Уницын, А.К. Петров, А.С. Козлов, С.Б. Малышкин, В.М. Попик, Т.Н. Горячковская, С.Е. Пельтек, Исследование возможности определения масс биологических нанообъектов методом терагерцовой лазерной абляции // Вестник НГУ. Серия: Физика. – 2009. – Т. 4, - вып. 3. – С. 74 – 77.

[2] А.К. Петров, А.С. Козлов, М.Б. Тарабан, Т.Н. Горячковская, С.Б. Малышкин, В.М. Попик, С.Е. Пельтек, Мягкая абляция биологических объектов под воздействием субмиллиметрового излучения лазера на свободных электронах // Доклады академии наук (2005), т.404, №5, с.698-700.

[3] A.N. Ankilov et al. Particle size dependent response of aerosol counters // Atmos. Res. – 2002. - V. 62, N. 3-4. - P. 209-237.

[4] А.С. Уницын, М.С. Вагин, А.К. Петров, А.С. Козлов, С.Б.Малышкин, В.М.Попик, С.Е. Пельтек, Исследование дисперсного состава продуктов лазерной субмиллиметровой абляции неорганических наносистем // Вестник НГУ. Серия: Физика. – 2009. – Т. 4, - вып. 2. – С. 8 – 12.

**Станция «Химия»** позволяет работать с пучком излучения большого диаметра. В 2009 году на ней проведены следующие работы.

1) **Исследование воздействие терагерцового излучения на генетический материал.** Известно, что энергия связей, стабилизирующих вторичную структуру ДНК, лежит в терагерцовой области. Поэтому возможен поиск резонансных частот терагерцового излучения, разрушающих эти связи и, следовательно, вторичную структуру ДНК без разрушения первичной структуры полимерных цепей ДНК. Для изучения этого явления была разработана специальная модельная система, позволяющая визуализировать этот процесс с помощью меченых флюорохромом олигонуклеотидов. В качестве модельного объекта использована ДНК плазмиды pUC18. В случае, если под воздействием терагерцового излучения происходит разрушение водородных связей на отдельных участках ДНК, то в этом месте происходит гибридизация с олигонуклеотидом. Результаты гибридизации визуализировали при помощи электрофоретического разделения ДНК в 1% агарозном геле. Проверена работоспособность модельной системы в случае обычной температурной денатурации ДНК. Модельную систему облучали терагерцовым излучением следующих длин волн: 125, 129, 139, 140, 141, 200 мкм при временах экспозиции от 5 до 30 мин. Показано, что выбранные участки ДНК не имеют резонансных частот при этих длинах волн.

2) **Исследование воздействия терагерцового излучения на стрессочувствительные системы клетки.** В основе работы геносенсоров лежит способность клетки отвечать на воздействие повреждающих агентов активацией своих защитных систем. Каскады генов защитных систем бактериальной клетки активируются в присутствии агентов, повреждающих структуру и функции клетки. Промоторы таких генов и являются чувствительным звеном биосенсорной конструкции. В созданных искусственных генетических конструкциях промоторы генов защитных систем запускают синтез репортерного флуоресцентного белка (GFP, Green Fluorescent Protein) в клетках *E.coli*, накопление которого легко тестировать с помощью обычного флуоресцентного микроскопа. В качестве модельного объекта была использована серия стрессочувствительных геносенсоров, созданных в ИЦиГ СО РАН с использованием промоторов генов *ufiA* и *katG*. В результате проведенных экспериментов установлено, что под действием терагерцового излучения в системе на базе геносенсора *katG* происходит накопление GFP, что свидетельствует об индукции защитных механизмов клеток *E.coli*. Система на основе геносенсора *ufiA* не реагировала на терагерцовое излучение. Различия в реакции геносенсоров связано с селективным воздействием терагерцового излучения на разные защитные системы клеток *E.coli*.

3) **Исследование интегрального протеомного ответа клетки *E.coli* на воздействие терагерцовым излучением.** Протеом, в отличие от генома, не является постоянной характеристикой клетки и специфично реагирует на изменения условий внешней среды. В качестве основного объекта исследования выбраны клетки *E.coli* – хорошо изученный в генетическом и протемном отношении организм. Анализ протеома *E.coli* до и после облучения терагерцовым излучением проводили современными методами протеомного анализа, включающие двумерный электрофорез (рис. 21) с последующей идентификацией белков

методом MALDI-TOF масс-спектрометрии (рис. 22).

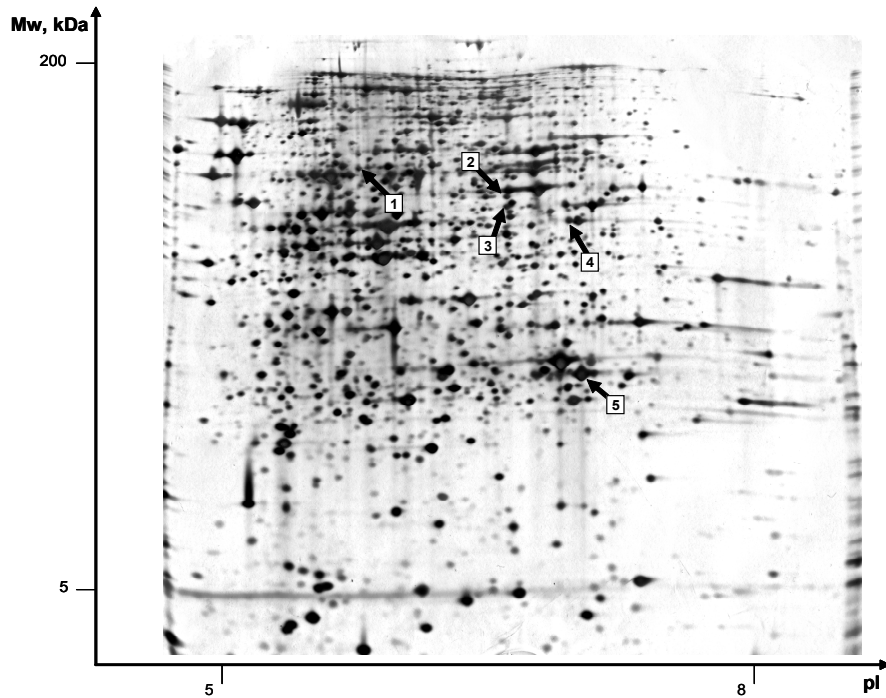


Рис. 21. Электрофореграмма в двумерном 12% ПААГ-ДСН суммарного белка *E. coli* после воздействия ТГц излучения. Стрелками обозначены идентифицированные фракции, экспрессия которых различалась более чем в два раза по сравнению с фракциями контрольного образца.

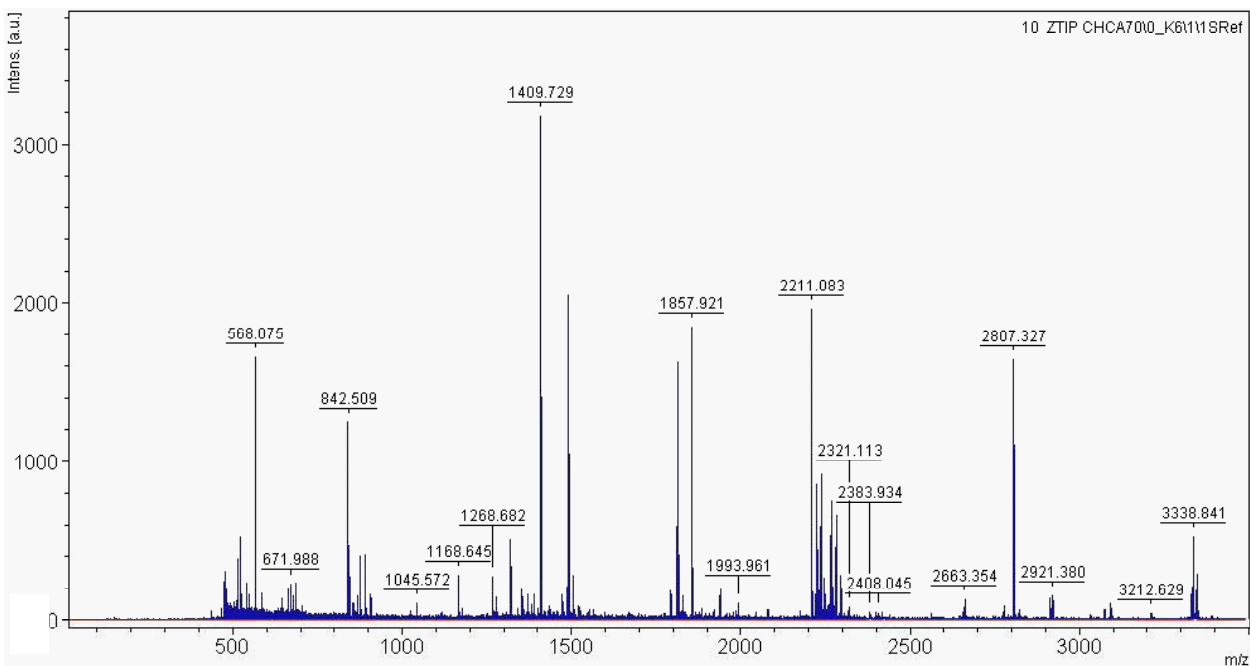


Рис. 22. Пептидный масс-спектр триптического гидролизата электрофоретической фракции № 3 суммарного белка *E. coli*.

Проведено исследование воздействия терагерцового излучения на биологические объекты трех типов. Не выявлено воздействия на вторичную структуру ДНК, показана индукция защитных механизмов клеток и изменение экспрессии генов *Glutamine synthetase*, *Phosphoglucosamine mutase*, *Glucarate dehydratase*, *Cysteine desulfurase*, *Uridine phosphorylase* *Escherichia coli* в ответ на воздействие терагерцового излучения.

В работе участвовали сотрудники Института химической кинетики и горения, Института цитологии и генетики и ИЯФ СО РАН.

**Станция “Спектроскопия и интроскопия (СпИн)”** предназначена для исследования спектров поглощения веществ и субстанций, а также для любых квазиоптических экспериментов с визуализацией изображений.

Состав станции: оптический стол, набор линз, зеркал и дифракционных оптических элементов, оптико-механические элементы (в том числе прецизионные моторизованные вращательные и поступательные подвижки, управляемые компьютером), термограф, матричные болометрические приемники, термочувствительные люминесцентные детекторы излучения, термочувствительный интерферометр Физо пирозлектрические детекторы, ПЗС-камера с микроканальным усилителем PI Max2, цифровые регистраторы сигналов Handyscope-3 и Handyscope-4, осциллографы Tektronix, резонансные усилители, акусто-оптические детекторы, дисковый накопитель на 6 терабайт и другое оборудование.

В 2009 году работы на станции велись при поддержке грантов:

1. Грант РФФИ № 07-02-13547-офи-ц «Разработка методов построения спектрометров полного внутреннего отражения для биомедицинских применений с терагерцовым лазером на свободных электронах в качестве источника излучения»

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».

Были получены следующие основные результаты:

Впервые создан изображающий НПВО-спектрометр [1, 2,] терагерцового диапазона с широким рабочим полем, способный работать в режиме реального времени. Общий вид изображающего НПВО-спектрометра приведен на рис. 23. Источником излучения служит Новосибирский лазер на свободных электронах, генерирующий непрерывную последовательность импульсов длительностью около 100 пс, следующих с частотой повторения 5,6 МГц. Длина волны излучения может плавно перестраиваться в интервале от 120 до 240 мкм при относительной ширине линии генерации  $0,3 \div 1\%$ . Образцы располагаются на одной из сменных кремниевых призм. Матричный микроболометрический приемник (ММБП) на основе окиси ванадия размером  $320 \times 240$  элементов, разработанный в ИФП СО РАН, позволяет записывать изображения отраженного от поверхности раздела призма-образец излучения в реальном времени со скоростью 20 кадров в секунду. Впервые зарегистрирована в терагерцовом диапазоне динамика НПВО-спектров разных объектов. Пример наблюдения процесса растворения капли этанола в воде приведен на рис. 24.

Продолжались работы по созданию матричных микроболометрических приемников (ММБП) для терагерцового диапазона. Сотрудниками ИФП СО РАН создан макет ММБП, в котором каждый микроболометр интегрирован с индивидуальной антенной. Эксперименты на ЛСЭ показали, что чувствительность такого приемника в 5-6 раз выше обычного [3].

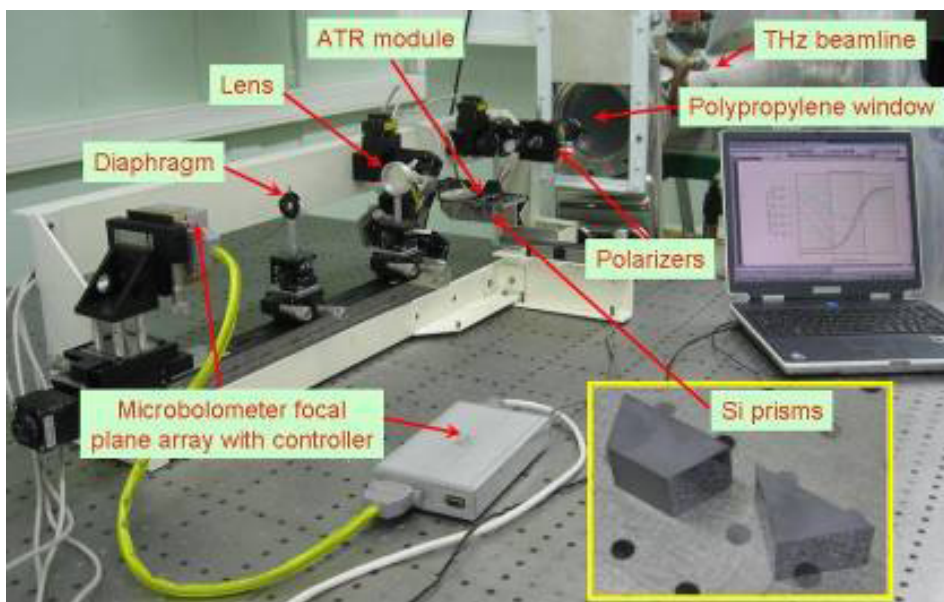


Рис. 23. Общий вид спектрометра нарушенного полного внутреннего отражения с кремниевыми призмами.

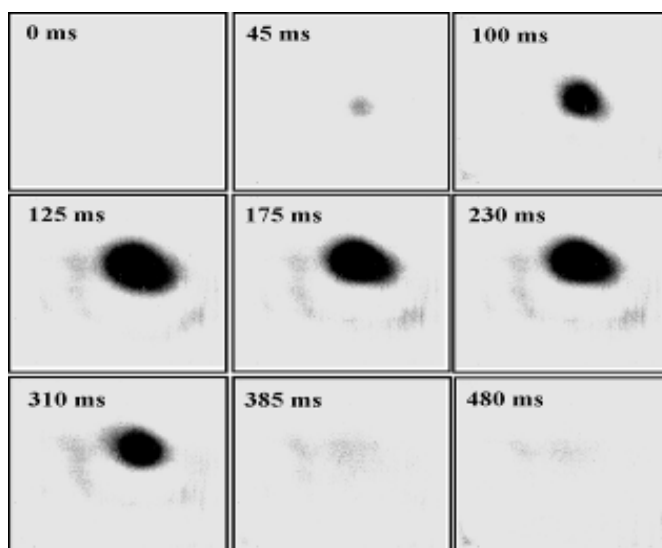


Рис. 24. Изображения, полученные с помощью матрицы микроболометров в НПВО-спектрометре при инъекции капли этанола в кювету с водой, расположенную на поверхности кремниевой призмы; источник излучения - лазер на свободных электронах, длина волны излучения - 130 мкм, р-поляризация, угол падения – 57° .

Выполнены детальные исследования спекл-структуры изображений объектов, освещаемых когерентным монохроматическим терагерцовым излучением лазера на свободных электронах [4]. Впервые исследована статистика спеклов в этом диапазоне и продемонстрирована спекл-фотография в терагерцовом диапазоне в реальном времени. Результаты позволяют перейти к разработке методов спекл-метрологии в терагерцовом диапазоне [6].

Конструкторско-технологическим институтом научного приборостроения разработаны пропускающие дифракционные оптические элементы из полипропилена высокого давления, предназначенные для работы в интенсивных пучках терагерцового излучения (см. ссылки [4, 5] в трудах конференции). Испытания шести образцов ДОЭ с помощью матричных микроболометрических приемников показали весьма высокое качество фокального

пятна в пучках со средней мощностью излучения 100 – 150 Вт. Разработка технологии продолжается.

Выполнены эксперименты по исследованию методов захвата свободной терагерцовой волны и формированию поверхностных плазмонов (ПП) на границе металл-воздух. Показано, что при дифракции на препятствиях (щелевых отверстиях специальной формы) происходит формирование ПП при р-поляризации падающего излучения, тогда как в случае s-поляризации такого захвата не происходит. Это однозначно свидетельствует о возникновении ПП. Эксперименты показали, однако, что при генерации ПП в режиме дифракции детектор наряду с ПП регистрирует одновременно и дифрагированную свободную волну. Для разделения ПП и свободной волны ведутся исследования альтернативных методов захвата. Кроме того, предложен метод разделения этих волн с помощью “геодезических элементов” [5]. Пример возможного использования таких элементов приведен на рис. 25.

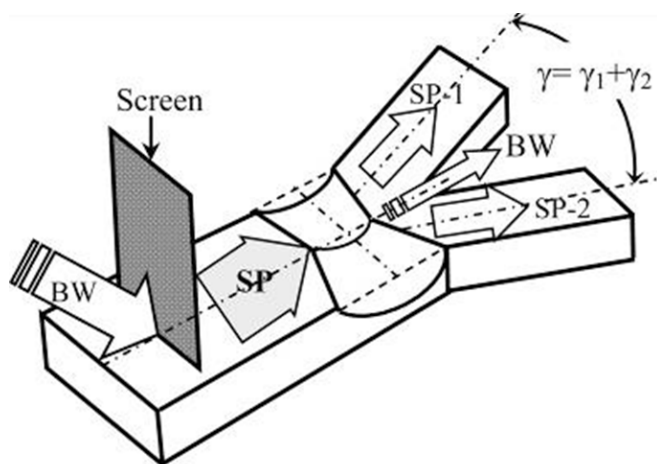


Рис. 25. Пример использования геодезических элементов для пространственного разделения свободной волны и поверхностного плазмона.

#### Литература

1. В.А. Князев, Г.Н. Кулипанов, Н.А. Винокуров. Novosibirsk terahertz free electron laser: instrumentation development and experimental achievements. Measurement Science and Technology, 21 стр. (принято к печати).
2. В.В. Герасимов, Б.А. Князев, В.С. Черкасский. Получение спектрально-селективных изображений объектов в режиме нарушенного полного внутреннего отражения в реальном времени в видимом и терагерцовом диапазонах. Оптика и спектроскопия, 4 стр. (принято к печати).
3. М.А. Демьяненко, Д.Г. Есаев, В.Н. Овсяк, Б.И.Фомин, А.Л. Асеев, Б.А. Князев, Г.Н. Кулипанов, Н.А.Винокуров. Матричные микроболометрические приемники для инфракрасного и терагерцового диапазонов. Оптический журнал, Т. 76, Вып. 12, с. 5-11, 2009.
4. Н.А. Винокуров, М.А. Демьяненко, Д.Г. Есаев, Б.А. Князев, Г.Н. Кулипанов, О.И. Чащина, В.С. Черкасский. Спекл-структура изображений объектов, освещаемых монохроматическим когерентным терагерцовым излучением. Квантовая электроника, Т.39, Вып. 5, С. 481, 2009.
5. G.D. Bogomolov, G.N. Zhizhin, A.K. Nikitin, В.А. Князев. Geodesic elements to control terahertz surface plasmons. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Ser. A, V.603, Issues 1-2, P. 52-55, 2009.
6. О.И. Чашчина, В.А. Князев, Г.Н. Кулипанов, Н.А. Винокуров. Real-time speckle metrology

using terahertz free electron laser radiation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Ser. A, V.603, Issues 1-2, P. 50-51, 2009.

На **станции молекулярной спектроскопии** сотрудниками Института химической кинетики и горения и ИЯФ СО РАН выполнялась работа по интеграционному проекту СО РАН № 102 «Разработка фарадеевского ЛМР спектрометра терагерцового диапазона с использованием лазера на свободных электронах».

Возможность использования излучения терагерцовой области (1-10 ТГц или 30–300 мкм) для детектирования свободных радикалов представляет интерес в первую очередь для диагностики пламени. В этой области находятся линии вращательных переходов многих свободных радикалов, играющих важную роль в процессах горения. К ним относятся радикалы OH, CN, CH, CH<sub>2</sub> и другие. Привлекательной особенностью является малое рассеивание длинноволнового излучения на частицах микронных размеров. В отличие от существующих оптических методов детектирования радикалов, использующих излучение лазеров видимого и УФ диапазонов, метод, использующий излучение терагерцового диапазона, может быть пригоден для изучения сильно рассеивающих сред, непрозрачных в видимом диапазоне. Примером таких объектов являются пламена с большим содержанием сажистых частиц. Задачей настоящего исследования является изучение возможности использования излучения терагерцового ЛСЭ для детектирования парамагнитных частиц в газе.

В терагерцовой области находятся линии вращательных переходов сравнительно малых молекул, обладающих малым моментом инерции. Кроме того, необходимо наличие постоянного дипольного момента. Этим требованиям лучше всего удовлетворяют двух и трехатомные гидриды, такие как молекула воды H<sub>2</sub>O и водородсодержащие радикалы OH, CH, CH<sub>2</sub>. Поскольку обычно концентрация воды в пламени значительно больше концентрации свободных радикалов, большинство линий поглощения пламени в терагерцовой области относится к спектру H<sub>2</sub>O.

Радикал OH является удобным объектом исследования из-за наличия интенсивных линий поглощения в терагерцовой области. В область перестройки ЛСЭ попадают две линии поглощения радикала OH, лежащие на 1835 ГГц и 2512 ГГц. Эти линии соответствуют переходам с нижних вращательных уровней электронных состояний  ${}^2\Pi_{1/2}(1/2 \rightarrow 1/2)$ , и  ${}^2\Pi_{3/2}(1/2 \rightarrow 2/2)$

Чувствительным методом регистрации парамагнитных частиц является регистрация вращения плоскости поляризации в магнитном поле (эффект Фарадея). Поворот плоскости поляризации в магнитном поле возникает из-за разницы показателей преломления среды для волн с правой и с левой круговыми поляризациями. Вследствие аномальной дисперсии показателя преломления среды для излучения, имеющего частоту, близкую к частоте линии поглощения парамагнитной частицы, величина поворота плоскости поляризации при достижении резонанса намного увеличивается. Высокая чувствительность Фарадеевского метода обеспечивается возможностью измерения малых углов поворота плоскости поляризации излучения.

На рис. 26 изображена схема экспериментальной установки. Установка состоит из электромагнита, между полюсами которого располагается горелка, входного поляризатора, анализатора (выходного поляризатора), приемника излучения и необходимых оптических элементов. Излучение ЛСЭ направлялось вдоль магнитного поля через отверстия, просверленные в полюсах магнита. Для фокусировки излучения использовалась комбинация выпуклого и вогнутого сферических зеркал. Диаметр луча в области горелки составлял около 1 мм. Для регистрации интенсивности излучения после анализатора использовался пироэлектрический приемник излучения МГ-33. Поскольку пироприемники чувствительны к переменному сигналу, излучение модулировалось вращающимся диском с отверстиями на частоте около 300 Гц. Переменный сигнал с приемника излучения регистрировался

с помощью синхронного детектора УСД-2 и вводился в компьютер.

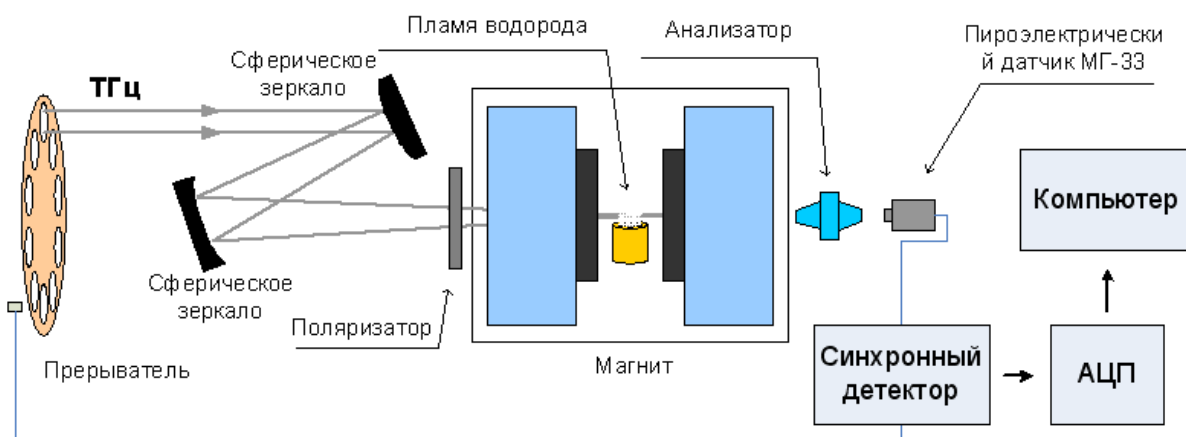


Рис. 26. Схема экспериментальной установки для детектирования фарадеевского вращения плоскости поляризации излучения ЛСЭ в пламени.

Излучение ЛСЭ линейно поляризовано, но степень поляризации оказалась недостаточно высокой – 99,5%. Чтобы улучшить степень поляризации перед входом в электромагнит устанавливался дополнительный поляризатор. Направление его оси выставлялось вдоль направления поляризации лазерного излучения. В качестве анализатора использовался широкополосный поляризатор компании Tydex (Санкт-Петербург). Он обеспечивал подавление нежелательной поляризации до  $10^{-3}$  в диапазоне длин волн 120 – 180 мкм. Направление оси анализатора было повернуто на угол  $\pi/2 + \varphi_0$  относительно направления поляризации лазера, где  $\varphi_0$  – небольшое отклонение.

Перед началом измерений частота излучения ЛСЭ настраивалась на линию поглощения. Для измерения спектра лазерного излучения использовался Фурье-спектрометр Bruker IFS-66V. Собственно измерения состояли в сравнении интенсивности излучения, прошедшего через анализатор с выключенным магнитным полем и с включенным полем. Если при включении магнитного поля происходит поворот плоскости поляризации на угол  $\Delta\varphi$ , то интенсивность излучения на приемнике:

$$I = I_0 \cdot \sin^2(\varphi_0 + \Delta\varphi) \approx I_0 \cdot (\varphi_0^2 + 2 \varphi_0 \cdot \Delta\varphi + \Delta\varphi^2) \quad (1)$$

Соответственно изменение интенсивности при включении и выключении поля:

$$\Delta I \approx I_0 \cdot (2 \varphi_0 \cdot \Delta\varphi + \Delta\varphi^2) \quad (2)$$

Перед работой с пламенем была проделана проверка работы установки на линиях поглощения NO. На место горелки в этих экспериментах устанавливалась оптическая кювета с полиэтиленовыми окнами, заполненная NO. Молекулы NO обладают постоянным магнитным моментом, и на линиях поглощения NO, также как и на линиях поглощения свободных радикалов, должен наблюдаться эффект Фарадея.



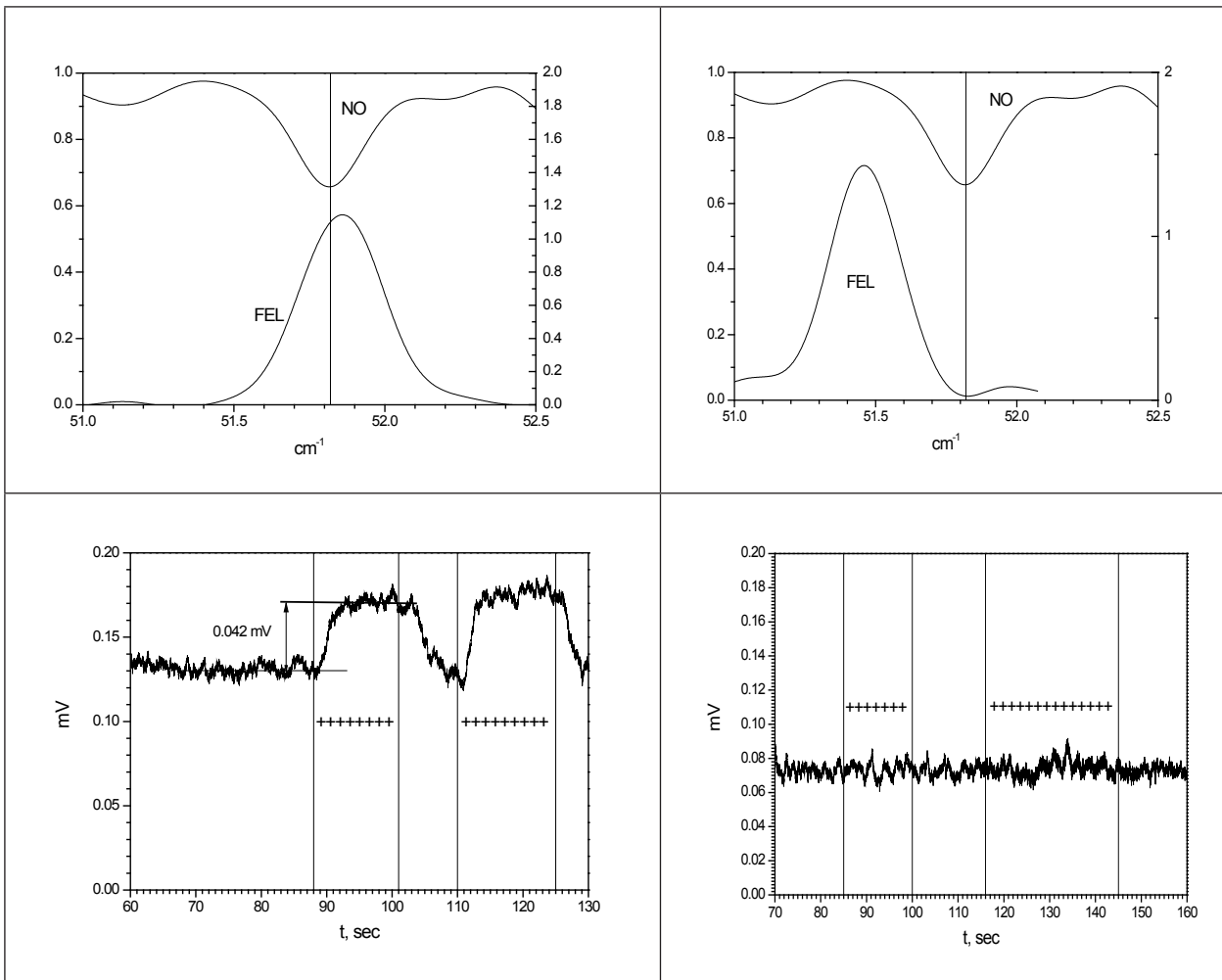


Рис. 27. Наблюдение эффекта Фарадея во вращательном спектре NO. Вверху спектр излучения ЛСЭ. Вертикальной линией показано положение линии поглощения NO  ${}^2\Pi_{3/2}(16,5) \leftarrow {}^2\Pi_{3/2}(15,5)$ . Внизу показано изменение интенсивности излучения при включении и выключении магнитного поля 8 кГс.

На рис. 27 приведены результаты экспериментов с NO. Наблюдалось индуцированное магнитным полем вращение плоскости поляризации излучения ЛСЭ терагерцового диапазона. Эффект наблюдался, когда лазерное излучение было настроено на линию поглощения молекулы NO. Вверху слева показаны спектр излучения ЛСЭ и линия поглощения во вращательном спектре NO. Внизу слева показана интенсивность излучения, прошедшего кювету с NO и анализатор. При включении магнитного поля (моменты включения и выключения отмечены вертикальными линиями) плоскость поляризации поворачивается, что приводит к изменению интенсивности излучения, прошедшего анализатор. При выключении поля интенсивность восстанавливается. Некоторая задержка связана с тем, что из-за большой индуктивности обмотки электромагнита магнитное поле возрастает медленно. Если же линия лазера отстроена в сторону от линии поглощения NO, как это показано на рисунках справа, то магнитное поле не оказывает влияния на поляризацию терагерцового излучения.

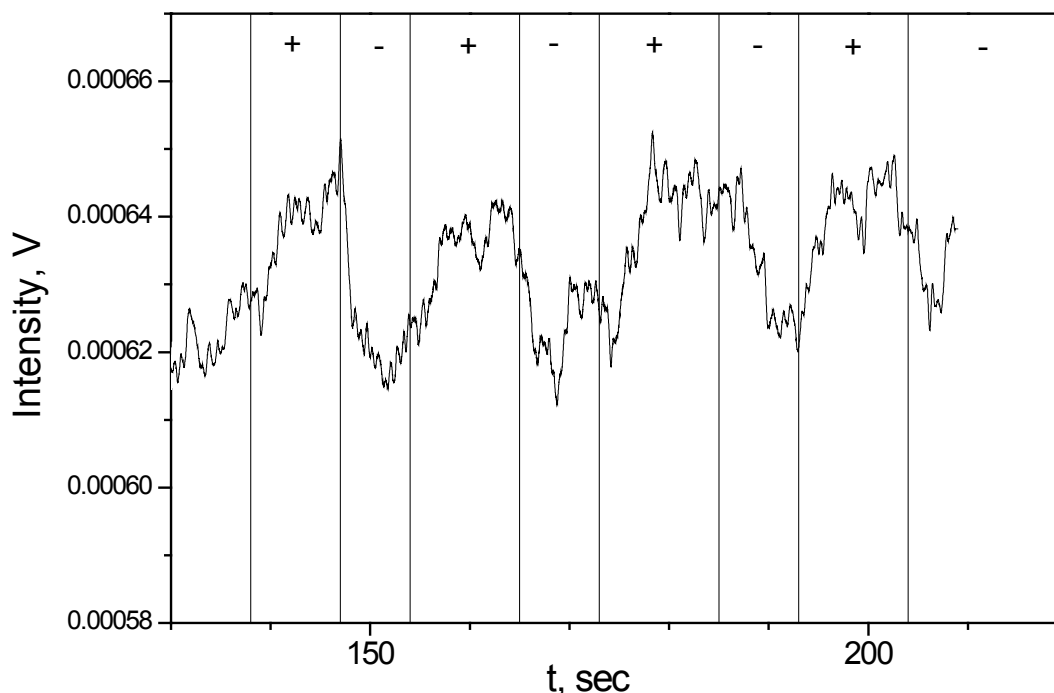


Рис. 28 Изменение плоскости поляризации в магнитном поле на частоте 1843 ГГц радикала ОН.

На рис. 28 показаны результаты экспериментов по вращению плоскости поляризации на линии  ${}^2\Pi_{1/2}$  ( $1/2 \rightarrow 1/2$ ), радикала ОН. Между полюсами магнита размещалась описанная выше горелка. Эффект удалось зарегистрировать, когда ЛСЭ был настроен на частоту 1843 ГГц. Ширина линии ЛСЭ на полувысоте составляла 18 ГГц. Рассчитанный по формуле (2) угол поворота плоскости поляризации излучения лазера составил  $1,4 \cdot 10^{-3}$  рад.

Таким образом, величина поворота плоскости поляризации в магнитном поле для терагерцового излучения, настроенного на линии поглощения радикала ОН в пламени при атмосферном давлении, является доступной для измерения ( $\sim 10^{-3}$  рад). Основной путь повышения чувствительности в настоящее время - это уменьшение шумов излучения ЛСЭ. Возможности: а) повышение частоты модуляции магнитного поля от 0,1 Гц до 300-1000 Гц, б) Использование симметричной модуляции магнитного поля от  $-H$  до  $+H$ .

### 6.3.3 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. 29). Таким образом, не требуется демонтаж одного для постройки другого. Выбор режима работы осуществляется простым переключением поворотных магнитов.

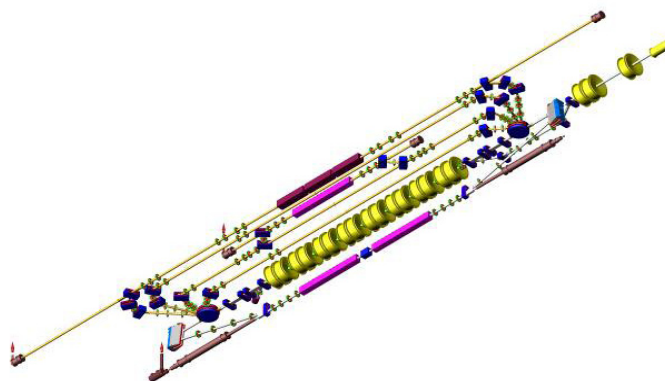


Рис. 29. Схема полномасштабного 4-оборотного ускорителя-рекуператора (плюс одна дорожка в вертикальной плоскости с ЛСЭ ТГц диапазона 110-240 мкм) .

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 смонтирован оптический резонатор ЛСЭ второй очереди. На рисунке 30 показана схема оптического резонатора. Он представляет собой двухзеркальный резонатор с длиной Рэлея около 3 м. Отверстие в левом зеркале служит для вывода излучения в канал вывода, а в отверстие в правом зеркале вводится излучение юстировочного лазера.

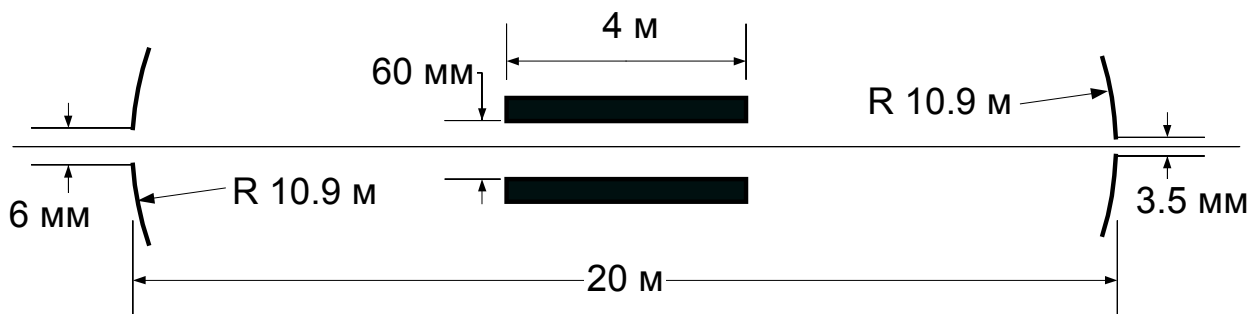


Рис. 30. Схема оптического резонатора.

На рисунке 31 изображено левое зеркало. Излучение, выходящее через отверстие в зеркале, проходит через вакуумное окно. Последнее представляет собой алмазную пластинку, повернутую вокруг вертикальной оси на угол Брюстера, что обеспечивает полное прохождение излучения в канал вывода.



Рис. 31. Левое зеркало с выводным окном.

Положения узлов оптического резонатора выставлены с требуемой точностью. Отлажено дистанционное управление зеркалами и проведена точная юстировка зеркал. Достигнуты требуемые точности координатной выставки ( $0,2$  мм) и угловой юстировки зеркал ( $5 \cdot 10^{-5}$  радиана).

После юстировки оптического резонатора получен режим генерации вынужденного излучения на ЛСЭ второй очереди. Средняя мощность излучения составляла  $0,5$  кВт, а длина волны перестраивалась от  $40$  до  $80$  микрон. Как и ЛСЭ первой очереди, ЛСЭ второй очереди по средней мощности излучения в своем спектральном диапазоне значительно превосходит аналогичные зарубежные установки.

Спроектирован канал вывода излучения, позволяющий направлять излучение ЛСЭ второй очереди на существующие пользовательские станции. В состав канала входит четыре зеркала и объем, заполняемый сухим азотом.

Таким образом, в 2009 году заработал ЛСЭ на второй дорожке УР. Вывод его излучения на пользовательские станции планируется в 2010 году.

### 6.3.4 Результаты 2009 года и планы на 2010 год.

Основные результаты работ в 2009 году:

1. Обеспечена регулярная работа пользователей на ТГц ЛСЭ первой очереди.
2. Проведен монтаж элементов магнитной системы третьей и четвертой дорожек УР.
3. Запущен ЛСЭ второй очереди (на 2-й дорожке УР).
4. Изготовлен и установлен канал вывода излучения ЛСЭ второй очереди.
5. Проведена модернизация канала вывода излучения и существующих экспериментальных станций, и продолжена работа над созданием новых станций.

Планы на 2010 год:

1. Запустить канал вывода излучения ЛСЭ второй очереди.
2. Закончить монтаж вакуумной камеры третьей и четвертой дорожек ускорителя-рекуператора.
3. Спроектировать оптический резонатор для ЛСЭ на четвертой дорожке.

4. Продолжить работу над созданием новых станций.
5. Продолжить проектирование и изготовление узлов испытательного стенда ВЧ инжектора.
6. Продолжить работу на пользователей.

## 6.4 Разработка и создание специализированных генераторов СИ

### 6.4.1 Сверхпроводящие вигглеры

В 2009 году проводилось одновременно несколько контрактных работ по разработке и изготовлению различных сверхпроводящих криогенно-магнитных систем для генерации СИ.

1. В марте 2009 года был доставлен и собран на территории накопителя DLS (Diamond Light Source, Англия) 49-полюсный вигглер с периодом 48 мм, магнитным полем 4,3 Т и межполюсным зазором 14 мм. Это уже второй сверхпроводящий вигглер, изготовленный ИЯФ по контракту для DLS. После заключительных испытаний и проведения цикла магнитных измерений вигглер был установлен на накопитель и начал работать в обычном режиме (Рис. 32). Этот канал излучения с высокой интенсивностью фотонов в спектральном диапазоне 10-150 КэВ имеет название JEEP (Joint Engineering, Environmental and Processing). Он будет использоваться для материаловедения, химической инженерии, геологии и неразрушающего контроля крупных механических изделий (например, деталей самолетов).



Рис. 32. Монтаж 49-полюсного вигглера с полем 4,3 Т на накопитель DLS (Англия).

2. В сентябре 2009 года после полной модернизации криогенной системы был вновь запущен в эксплуатацию трехполюсный шифтер с полем 7,5 Т на накопителе LSU-CAMD (США). Этот вигглер, изготовленный в ИЯФ еще в 1997 году, успешно проработал на накопителе 12 лет. Однако такой важный потребительский параметр, как расход жидкого

гелия, перестал удовлетворять современным требованиям. Поэтому по отдельному контракту магнитная система вигглера была извлечена из старого криостата и помещена во вновь изготовленный криостат. При этом сама магнитная система осталась практически неизменной. В новой криогенной системе без использования жидкого азота расход жидкого гелия был уменьшен почти в  $\sim 50$  раз, что по сравнению с предыдущим значением, позволяет производить подливку гелия не чаще, чем раз в 4 месяца вместо каждых трех дней. В модернизированной криогенной системе были использованы один криокуллер фирмы Sumitomo с производительностью 1,5 Ватт при температуре 4,2 К для охлаждения гелиевого сосуда и тоководов, а также один криокуллер с температурами 20 К и 60 К для охлаждения экранов. В настоящее время модернизированный шифтер продолжает успешно работать на накопителе LSU-CAMD (рис. 33).



Рис. 33. Процесс переноса на накопитель LSU-CAMD модернизированного шифтера с полем 7,5 Т.

3. В августе 2009 года был доставлен, собран и полностью испытан 35-полюсный вигглер с полем 3,6 Т и периодом 60 мм для накопителя LNLS (г. Кампинас, Бразилия) (рис. 34). В декабре 2009 этот вигглер был установлен непосредственно на накопитель.

4. В 2009 году была изготовлена и успешно испытана полноразмерная магнитная система 119-полюсного вигглера длиной 1892 мм с периодом 31 мм, магнитным полем 2,2 Т и межполюсным зазором 12,6 мм для строящегося накопителя ALBA-CELLS (Испания). Такой вигглер уже вплотную приближается по своим параметрам к ондуляторам. Отличительной особенностью его является также использование в качестве материала для изготовления обмоток тонкого сверхпроводящего провода диаметром всего 0,55 мм с рекордным для такого сечения токовыми характеристиками (240 А в поле 7 Т). При использовании такого тонкого провода следовало особое внимание уделять 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 дополнительные жесткие требования на качество изготовления и методику проверки каждой сверхпроводящей катушки, а также

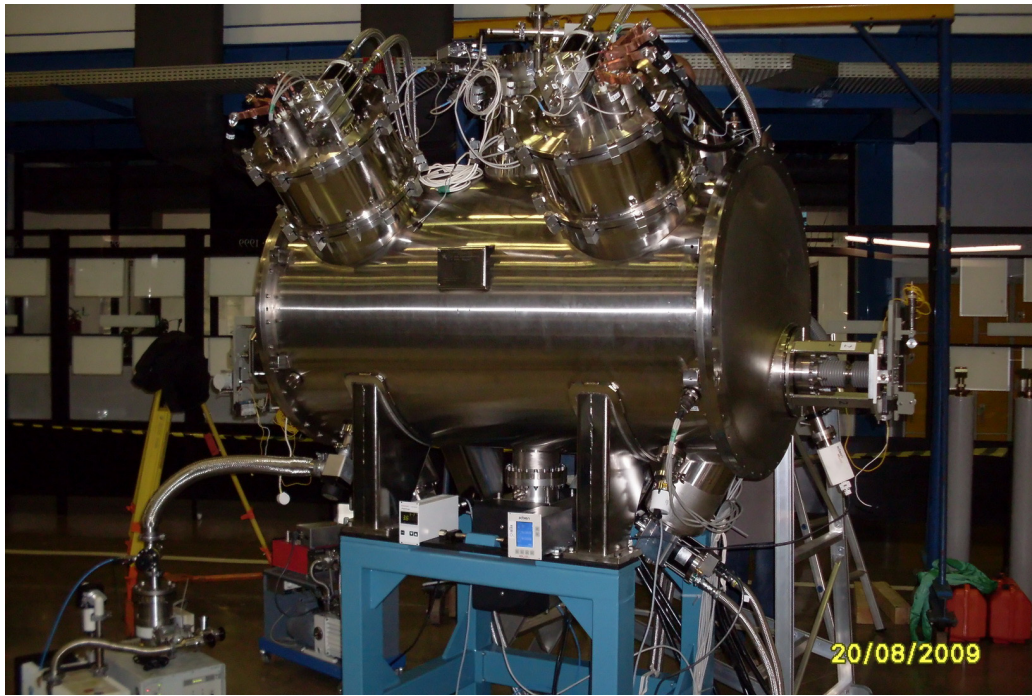


Рис. 34. 35-полюсный вигглер с полем 3,6 Т и периодом 60 мм на накопителе LNLS (г. Кампинас, Бразилия).

на качество электрических контактов между ними. Магнитная система была успешно испытана в погружном криостате и были достигнуты необходимые параметры магнитного поля (Рис. 35). В настоящее время ведется изготовление собственного криостата вигглера. В феврале 2010 года запланировано испытание вигглера в криостате, а в апреле 2010 предполагается установка и запуск непосредственно на накопительном кольце ALBA-CELLS.



Рис. 35. Магнитная система 119-полюсного вигглера с полем 2,2 Т и периодом 31 мм для накопителя ALBA-CELLS (Испания).

## 6.4.2 Вигглеры-затухатели на постоянных NdFeB магнитах для источника СИ Petra-III (Гамбург)

Закончена контрактная работа по производству 21 вигглера-затухателя на постоянных магнитах для накопителя-источника СИ PETRA-III (DESY, Германия).

Вигглеры для PETRA-III установлены в двух прямолинейных промежутках, по 10 штук в каждом (1 вигглер запасной), и предназначены для уменьшения эмитанса пучка электронов в кольце.

Магнитные параметры вигглеров следующие:

Период	20 см
Амплитуда поля	15,6 кГс
Вертикальный зазор	24 мм
Длина	4 м

Вначале был изготовлен полномасштабный прототип вигглера, а затем, после одобрения конструкции вигглера специалистами DESY, в течении полутора лет были изготовлены и настроены все 20 вигглеров. За 2008-2009 годы все вигглеры были установлены в кольце PETRA-III. В феврале 2009 года начался запуск ускорителя, а к концу года получено уменьшение эмитанса пучка электронов в кольце до рекордного значения  $10^{-9}$  м·рад.

Помимо вигглеров, для PETRA-III в ИЯФ были также спроектированы и изготовлены приёмники синхротронного излучения из вигглеров суммарной мощностью 800 кВт и вакуумная система для прямолинейных промежутков.



Рис. 36. Вигглеры производства ИЯФ в прямолинейных промежутках PETRA-III.

## 6.4.3 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 ио-



нами 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, область однородного ( $\pm 3 \cdot 10^{-4}$ ) магнитного поля по горизонтали  $\pm 0,195$  м, эффективную магнитную длину 2,4 м, радиус изгиба 12,5 м. Вес магнита около 100 тонн. Дипольный магнит должен перестраивать магнитное поле в диапазоне от 0,15 Т до 1,6 Т за 120 секунд. 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 2009 году.

В 2009 году закончено изготовлено и собрано железное ярмо магнита, произведены радиационно-стойкие катушки, собран магнит в целом. Магнитные измерения намечены на начало 2010 года.

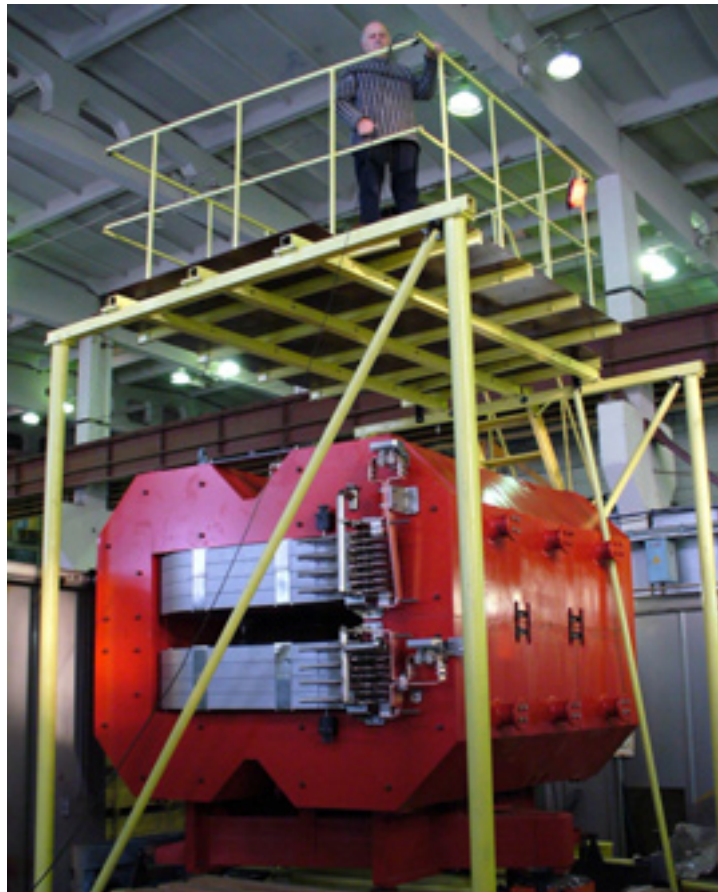


Рис. 37. Радиационно-стойкий дипольный магнит Н типа.

#### **6.4.4 Каналы транспортировки ионного углеродного пучка к пациентам для Центра терапии раковых заболеваний при университете Гунма, Япония.**

Для Центра терапии раковых заболеваний при университете Гунма (Япония) ИЯФ спроектировал, изготовил и поставил 4 высокоэнергетичных канала (400 МэВ/нуклон) и 1 технический (от инжектора до синхротрона, 4 МэВ/нуклон). В поставку входят: поворотные магниты (15 шт), квадруполи (26 шт), корректоры (24 шт), вакуумные камеры.

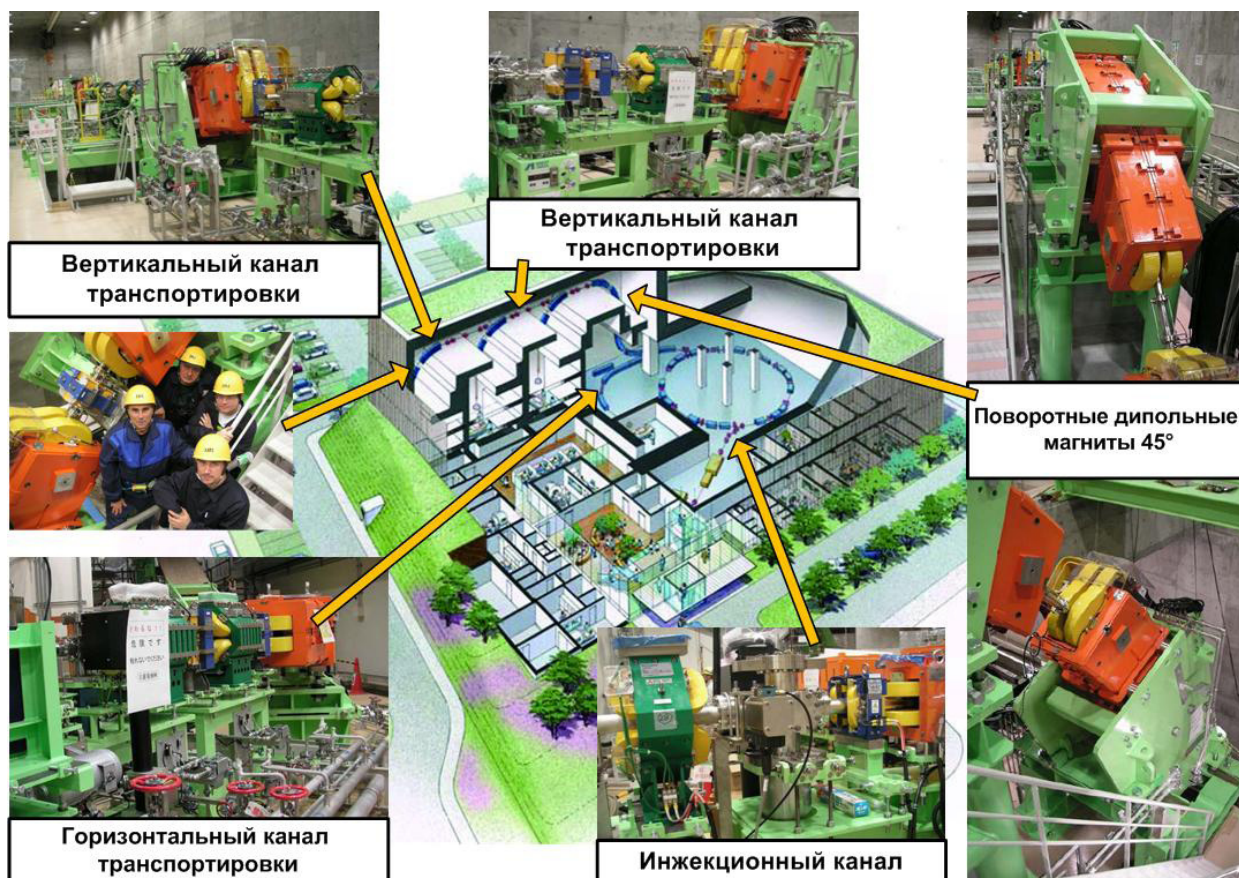


Рис. 38. Каналы, спроектированные и изготовленные в ИЯФ, на ускорителе ионов углерода Центра терапии раковых заболеваний при Университете Гунма.

В течении 2009 г. осуществлен монтаж и тестирование каналов транспортировки углеродного пучка к пациенту на ускорителе в Университете Гунма. Осенью 2009 г. осуществлена успешная проводка пучка по каналам транспортировки, достигнута проектная интенсивность пучка на мишени  $1,4 \cdot 10^9$  pps (particle per second) на полной энергии, выполнена программа предклинических испытаний на фантомах.

Лечение первого пациента запланировано на 1 марта 2010 года.

#### 6.4.5 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 продолжены и завершены работы по монтажу магнитных элементов на большом накопителе (БН) и модернизации сильноточных источников питания.

В течение 2009 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 2010 года.



Рис. 39. Рабочий момент монтажа вакуумной системы большого кольца источника СИ “Зеленоград”.

#### **6.4.6 Разработка нового источника синхротронного излучения для Сибирского центра СИ**

В 2009 году продолжались работы по разработке нового источника синхротронного излучения для Сибирского центра СИ. На данном этапе основное внимание уделялось разработке концептуального строительного проекта комплекса зданий и оценке параметров необходимых инженерных систем.

Главным элементом каждого центра синхротронного излучения является накопитель - источник СИ. К сожалению, в России количество источников СИ мало и полностью отсутствуют источники, удовлетворяющие современным требованиям к подобным комплексам. Многие отечественные исследовательские группы вынуждены проводить эксперименты в зарубежных центрах, часто на невыгодных условиях, что создает много дополнительных проблем.

В Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера более тридцати лет назад был организован Сибирский центр синхротронного излучения (СЦСИ). Долгое время он был единственным российским центром, где велась постоянная работа на пучках СИ в рентгеновском диапазоне. За время работы Центра вокруг него сложилась уникальная инфраструктура, позволяющая проводить оригинальные исследования. Эффективная работа центра также обусловлена тесным сотрудничеством с соседними институтами Сибирского отделения РАН и сильными междисциплинарными связями. Кроме того, тесные связи с другими научными центрами в Сибирском регионе (Томск, Красноярск, Иркутск, Барнаул) привели к созданию совместных исследовательских коллективов, вовлеченных в различные совместные проекты по разным научным направлениям.

Однако, в настоящее время одной из главных проблем Сибирского центра СИ является отсутствие современного источника синхротронного излучения. Используемые в настоя-

щее время накопители ВЭПП-3 и ВЭПП-4М не являются специализированными источниками СИ, и параметры их излучения не соответствуют современным требованиям. Также следует отметить, что эти накопители были построены более чем 30 лет назад и в настоящее время на них часто случаются серьезные неисправности, что дополнительно уменьшает возможное пучковое время.

Сверхпроводящие поворотные магниты с большим полем позволяют создать компактный накопитель для генерации синхротронного излучения с достаточно жестким спектром. Большое поле в таких магнитах также позволяет получить жесткий спектр СИ при достаточно низкой энергии электронов, что, в свою очередь позволяет существенно снизить стоимость всего комплекса.

В данном проекте предлагается использовать комбинированную схему, включающую в себя как сверхпроводящие поворотные магниты – источники жесткого СИ, так и обычные (относительно мягкое рентгеновское и ВУФ-излучение).

Таблица 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

В проекте предполагается использовать 4 сверхпроводящих магнита. Так как угол поворота в магните достаточно большой (15°), то из каждого магнита можно организовать до 3-х каналов вывода жесткого СИ.

Главной целью оптимизации магнитной структуры была минимизация натурального горизонтального эмиттанса, что обеспечивает высокую спектральную яркость источника. Дополнительными целями в процессе оптимизации были следующие:

- максимальные значения бета-функций не должны превышать 30 м на всем протяжении суперпериода;
- прямолинейные промежутки должны иметь нулевую дисперсионную функцию, чтобы избежать дополнительной раскачки эмиттанса;
- структура должна иметь точки с хорошей сепарацией бета-функций, в которых можно установить секступольные линзы для компенсации натурального хроматизма;
- силы квадрупольных и секступольных линз не должны превосходить стандартные технологически достижимые величины: градиенты в квадрупольных линзах не должны превышать 50 Т/м;
- структура должна предусматривать возможность установки магнитов 2-х типов:

обычные теплые магниты и сверхпроводящие с полем 8,5 Т;

- желательно иметь большое количество прямолинейных промежутков, для установки устройств для генерации СИ (вигглеров и ондуляторов);

В качестве основной структуры была выбрана ТВА (Triple Bend Achromat) схема. Данная схема позволяет использовать магниты двух типов в качестве центральных (при условии равенства углов поворота) при практически одинаковой конфигурации оптических функций на концах ТВА-ячейки независимо от типа центрального магнита. Данная особенность, в свою очередь, позволяет гибко комбинировать ТВА-ячейки разных типов, то есть количество сверхпроводящих магнитов в структуре может варьироваться. При 12-кратной симметрии кольца количество сверхпроводящих магнитов может составлять 2, 3, 4, 6 или 8.

Геометрическая схема одного суперпериода представлена на Рис. 40. Суперпериод состоит из трех ТВА-ячеек. В средней ячейке центральный магнит является сверхпроводящим. В боковых ячейках в этом качестве выступают теплые магниты. Угол поворота орбиты во всех центральных магнитах один и тот же и составляет 15 градусов. Все боковые магниты – нормально проводящие, с полем 1,6 Тл и углом поворота 7,5 градуса.

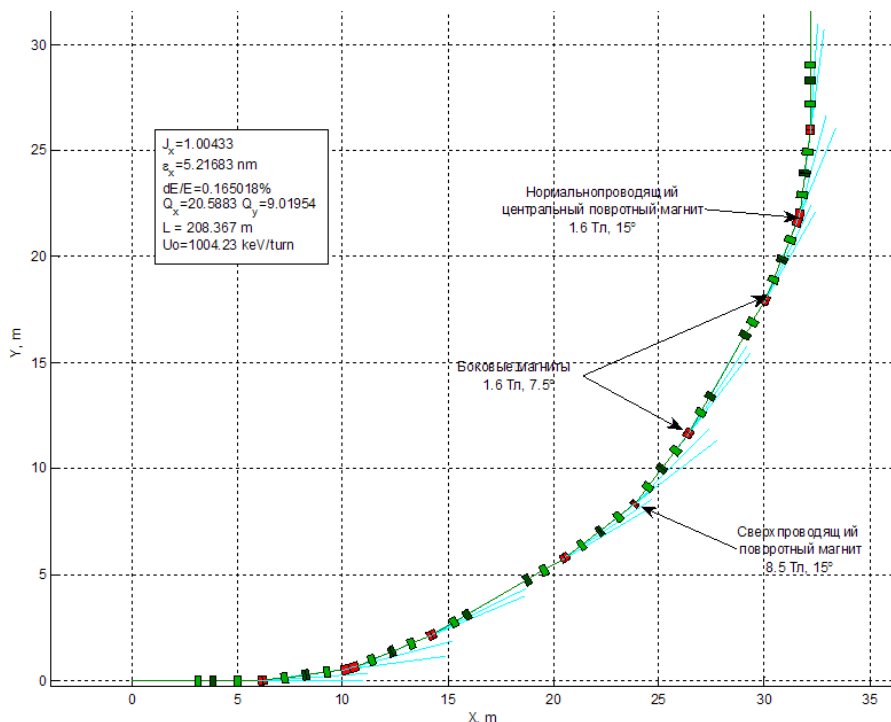


Рис. 40. Геометрическая схема суперпериода магнитной структуры накопителя.

Полный угол поворота одной ТВА-ячейки составляет 30 градусов, а всего суперпериода – 90 градусов. Длины прямолинейных промежутков составляют 3 м во внутренних промежутках суперпериода, то есть между центральной и боковыми ТВА-ячейками. Внешние промежутки, то есть между суперпериодами, имеют длину 7 м. Всего доступно 8 коротких промежутков, в двух из них планируется разместить ВЧ-станцию и систему инъекции. В остальных можно устанавливать устройства генерации СИ (вигглеры или ондуляторы).

Длинные промежутки предназначены для установки длинных ондуляторов, для получения пучков ондуляторного излучения высокой яркости.

Расчетный равновесный эмиттанс в данной схеме составляет 5,5 нм·рад, что позволяет отнести данный источник к источникам 3-го поколения. Полный периметр орбиты составляет 208,4 м.

### Криогенная система.

Существующая в данный момент в ИЯФ СО РАН технология позволяет создавать сверхпроводящие поворотные магниты с нулевым расходом жидкого гелия. Функционирование системы поддерживается с помощью криогенных “кулеров” и “реконденсоров”. Таким образом, расход жидкого гелия (и жидкого азота) происходит только в моменты первичного охлаждения систем после сборки (или ремонта).

### Вакуумная система

Вакуумная система включает в себя систему откачки (насосы с блоками питания), набор шиберов с ВЧ окном, вакуумную камеру накопителя.

В настоящий момент в ИЯФ СО РАН заканчивается разработка технологии напыления на внутренние поверхности вакуумных камер NEG покрытий (Not Evaporated Getters), позволяющая получать предельно низкое давление в камере. Такие технологии широко используются в современных ускорителях. Возможно использование данной технологии при изготовлении вакуумной камеры в рамках данного проекта.

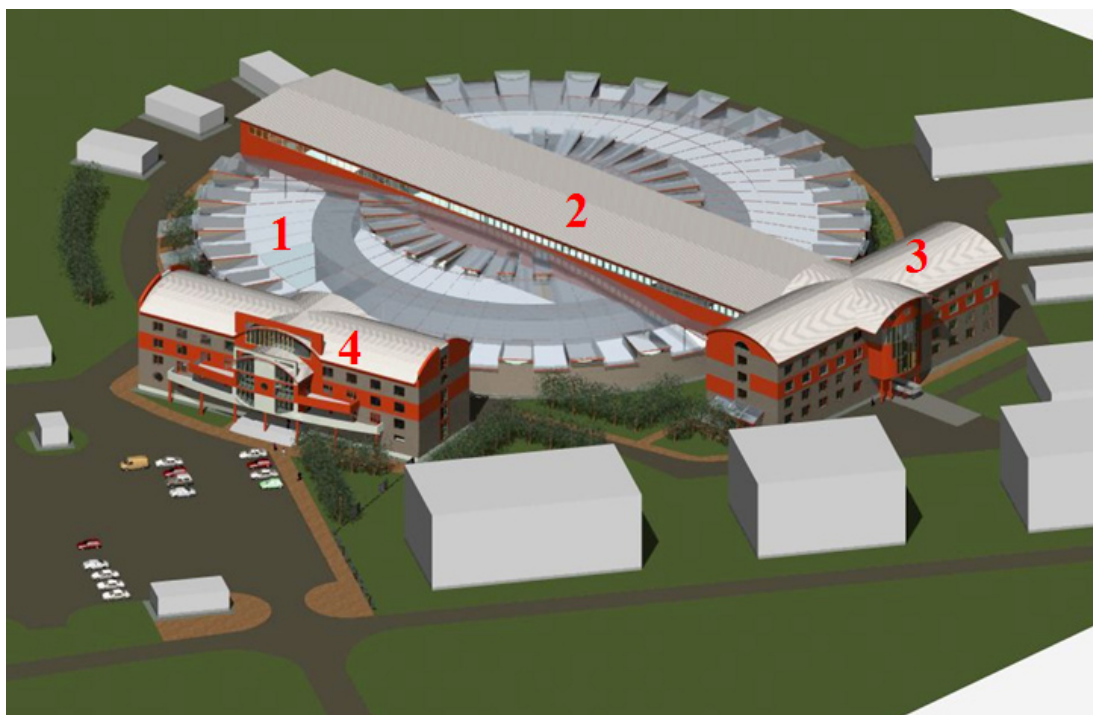


Рис. 41. Общий вид комплекса зданий для нового источника Сибирского центра СИ:

- 1 - Кольцевое здание накопителя источника СИ с экспериментальным залом;
- 2 - Центральное здание для размещения инжекционного комплекса с краном-балкой;
- 3 - Здание для мастерских и технологического оборудования;
- 4 - Лабораторно-офисное здание.

В процессе предварительного проектирования была разработана общая концепция размещения комплекса зданий. По техзаданию ИЯФ в ООО “Стройпрогресс” составлен эскиз комплекса зданий (рис. 41) с разрезами и поэтажной планировкой. Работа финансировалась Федеральным агентством по науке и инновациям в рамках Программы развития центров коллективного пользования (госконтракт ФАНИ № 02.552.11.7081).

Также были произведены оценки необходимых мощностей основных инженерных систем и определены их спецификации и ориентировочная стоимость.

Система электропитания: общая установочная мощность всех систем составляет

9 МВт. Общая тепловая мощность, снимаемая с систем дистиллированной водой, составляет 2 МВт. Предварительная стоимость создания Центра СИ, включая здание, источник СИ и первые шесть экспериментальных станций оценивается в 2,8 млрд. руб.

### **Расположение комплекса**

В данном проекте предполагается разместить комплекс на территории Института ядерной физики СО РАН возле пересечения улицы Ионосферная и улицы им. Ак. Будкера (бывшая ул. Физиков).

В соответствии с изложенной концепцией, было начато проектирование ускорительного комплекса. По результатам этой работы предполагается подготовить проектно-сметную документацию в концептуальный проект центра, работу над которым планируется продолжить в 2010 году.

## **6.5 Конференции, совещания, семинары**

### **6.5.1 Российско-германская школа для молодых специалистов «Синхротронное излучение».**

В период с 19 по 23 октября 2009 года в ИЯФ СО РАН была проведена 2-я Российско-германская школа для молодых специалистов «Синхротронное излучение». Основная ее цель - обеспечить эффективное освоение молодыми исследователями и преподавателями лучших научных и методических достижений в области генерации и использования синхротронного излучения с углубленным анализом методик рентгеновской дифракции, малоуглового рассеяния, а также исследования быстропротекающих процессов на синхротронном излучении.

Слушателями Школы стали 106 человек, из них 98 молодых специалистов (моложе 35 лет на момент проведения) из следующих городов: Гатчина, Дубна, Екатеринбург, Зеленоград, Иваново, Ижевск, Иркутск, Казань, Красноярск, Москва, Новосибирск, Санкт-Петербург, Саров, Снежинск, Томск, Черногловка, а также Карлсруэ (Германия) и Алматы (Казахстан).

Программа Школы включала 29 лекций. Среди российских лекторов были академик и член-корреспондент РАН, девять докторов и десять кандидатов наук. В работе Школы приняли участие трое лекторов из Германии. Слушатели познакомились с историей развития источников СИ в России и мире, узнали о перспективах развития и новых проектах источников СИ, ТГц и ИК-излучения (Г.Н.Кулипанов «Источники синхротронного излучения и лазеры на свободных электронах. История, статус и перспективы», К.В.Золотарев «Теория синхротронного излучения», и «Источник синхротронного излучения на сверхпроводящих магнитах», Н.А.Мезенцев «Сверхпроводящие вигглеры и ондуляторы в качестве источников жесткого рентгеновского излучения», Н.А.Винокуров «Новосибирский лазер на свободных электронах терагерцового диапазона»).

Темами остальных лекций были различные детекторы для экспериментов на пучках синхротронного излучения, методики использования СИ для исследования материалов: EXAFS, малоугловое рассеяние, резонансное рассеяние СИ; применение этих методик для исследования: материалов под высоким давлением, газовых гидратов, монокристаллов, быстропротекающих процессов (детонационных и ударноволновых), фазового состава наноматериалов, твердофазных реакций, и др.; методики применения ТГц излучения Все прочитанные лекции размещены на сайте Школы в Интернете по адресу: <http://ssrc.inp.nsk>.

[su/school09/](http://su/school09/).

Важное место в работе Школы было отведено практическим занятиям: для этого в течение двух дней было выделено специальное время в работе шести станций Сибирского центра СИ. В группах по три человека слушатели имели возможность изучить работу каждой из задействованных в практических занятиях станций:

- исследование детонационных процессов (станция «Взрыв»);
- дифрактометрия с высоким разрешением и аномальное рассеяние;
- рентгенофлюоресцентный элементный анализ;
- станция дифрактометрии в области 30-34 кэВ;
- рентгеновская томография и микроскопия;
- дифрактометрия с высоким временным разрешением («дифракционное кино»);
- EXAFS-спектроскопия.

База данных о слушателях, собранная во время проведения этого мероприятия, впоследствии будет полезна для оповещения молодых ученых о событиях в Сибирском центре СИ, о вакансиях или открытых научных программах, и т.д.

Российско-германская школа для молодых специалистов «Синхротронное излучение» проведена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (контракт ФАНИ №02.741.11.2029) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 09-02-06165-г).



Рис. 42. Групповой снимок участников и преподавателей Школы.



## 6.5.2 8-я конференция студентов и аспирантов СЦСТИ

27 апреля 2009 года была проведена 8-я конференция студентов и аспирантов Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения. На конференции было представлено 19 докладов, из них 10 докладов студентов НГУ и НГТУ и 5 доклада аспирантов из 3-х институтов СО РАН: ИЯФ, ИХТТМ, ИНХ (Новосибирск), ИГХ (Иркутск). Конференция являлась также частью Конкурса молодых ученых ИЯФ. Комиссией отмечен высокий уровень многих представленных работ и в рамках обоих конкурсов присуждено два первых, два вторых и 4 третьих места с соответствующими награждениями победителей дипломами и поощрениями в виде денежных премий и памятных подарков. Специальным памятным призом награжден многократный призер нашей конференции, аспирант ИЯФ Бондаренко А.В.



Рис. 43. Рабочий момент конференции и награждение победителей.

## 6.5.3 Участие сотрудников СЦСТИ в других научных мероприятиях

Научная сессия “ИЯФ - 2010”. ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, 23-24 января 2009 г.

Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн. Нижний Новгород, 2-5 марта 2009 г.

8-й Петербургский международный форум ТЭК. Санкт-Петербург. 8-10 апреля 2008 г.

III International conference “Fundamental bases of mechanochemical technologies”, Novosibirsk, May 27-30, 2009.

The 9th International symposium on measurement technology and intelligent instruments: ISTC special session, Saint-Petersburg, 29 June – 2 July, 2009.

II International symposium: Topical problems of biophotonics (TPB-2009). Inst. of Appl. Physics, Nizhny Novgorod – Samara – Nizhny Novgorod, 19-24 July, 2009.

6<sup>th</sup> International conference XAFS’14, Camerino, Italy, 26 – 31 July 2009.

Russian-Japanese Workshop (review conference) “State of materials research and new trends in material science”. Novosibirsk, 3-5 August 2009, Russia.

31<sup>st</sup> International free electron laser conference FEL'09. Liverpool, UK. 23-28 August, 2009.

Second international workshop – exhibition “Strategy of development of large-scale research infrastructures of the Russian Federation and cooperation with the European Union”. Russian centre for science and culture, Copenhagen, Denmark, September 7-8, 2009.

XXI conference on applied crystallography: Zakopane, Poland, 20-24 Sept. 2009.

The 34<sup>th</sup> International conference on infrared, millimeter, and terahertz wave IRMMW-THz'2009. Busan, Korea, Sept. 21– 25, 2009.

2<sup>nd</sup> International conference on X-ray analysis. Ulaanbaatar, Mongolia, September 23-26, 2009.

1-я Всероссийская научная конференция «Методы исследования состава и структуры функциональных материалов. Новосибирск, 11-16 октября 2009 года.

Всероссийская конференция “Развитие сети центров коллективного пользования научным оборудованием”. Краснодар, 12-18 октября 2008 г.

Международная научная конференция, посвящённая 75-летию КазНУ им. аль-Фараби “Университеты XXI века: инновации и новые технологии” Алматы, 14-15 октября 2009 г.

Школа молодых специалистов «Синхротронное излучение. Дифракция и рассеяние». ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, 19-23 октября 2009 г.

7-я международная специализированная выставка «Лаборатория Экспо-2009». Москва, 10-13 ноября 2009 г.

International school for young scientists “Advanced Research in Photon Sciences. Experimental Capabilities of the European XFEL”, Moscow, November 11-13, 2009.

VII национальная конференция «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-био-инфо-когнитивные технологии» (РСНЭ – НБИК 2009). Москва, 16-21 ноября 2009 г.



**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 государственными программами "Встречные пучки", "Физика высоких энергий", "Синхротронное излучение", «Физика микроволн».

В рамках этих программ сотрудники лаборатории занимаются разработкой разнообразного радиоэлектронного оборудования: систем питания, управления, диагностики, систем компьютерного управления; занимаются разработкой высокочастотных ускоряющих систем и источников ВЧ и СВЧ энергии, исследованием поведения пучков заряженных частиц во взаимодействии с ускоряющими системами и с другими элементами и устройствами ускорителей и накопителей заряженных частиц. Очевидно, что основные результаты работы лаборатории являются частью общих результатов исследований и работ, проводимых на действующих комплексах: ВЭПП - 4, ВЭПП-2000, ЛСЭ, Инжекционного комплекса, работ по физике плазмы.

Как следствие универсального характера некоторых разработок лаборатории, часть из них становится основой для разработки приборов и/или устройств, имеющих самостоятельную научную или технологическую ценность. Некоторые разработки в той или иной степени применяются и используются в работах по другим тематикам Института, при выполнении работ по контрактам с российскими и/или зарубежными научными центрами из США, Германии, Швейцарии, Японии, Китая, Южной Кореи.

Здесь следует особо отметить контрактные работы для CERN по созданию элементов ЛНС, 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.

Ниже кратко приведены некоторые результаты работ, проводившихся Лабораторией в 2009 году, и ориентиры по работам, которые будут продолжены в 2010 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 и со сложной системой блокировок и устройств внутреннего контроля. Аналогов российская промышленность не выпускает.

1) В 2009 году была продолжена многолетняя работа по модернизации электроники прецизионных источников серии ИСТ, предназначенных для питания электромагнитов. Это устройства мощностью 50кВт, 100кВт и 200кВт с тиристорным регулятором и с каналом подавления пульсаций. Источники управляются встроенными одноканальными 16-разрядными ЦАП (СЕАС121), для измерения тока применены бесконтактные магнитомодуляционные датчики тока (ДССТ). В 2009 году на комплексе ТНК (Зеленоград) модернизированы шесть ИСТ-ов (два – на 2кА/30В и четыре – на 1 кА/115 В). Для Инжекционного комплекса модернизировано три ИСТ-а – 2кА/50В и один – 1кА/90В. Напомним, что модернизация включает в себя замену электроники, внутришкафного электромонтажа и конденсаторных батарей.

Для ИСТ-ов канала К-500 была проведена разработка электроники устройства реверса тока нагрузки, поскольку канал предназначается для транспортировки электронов и позитронов на комплексы ВЭПП-2000 и ВЭПП-4. Прототип блока реверса был успешно испытан в конце 2009 года. В 2010 году планируется оснастить этими узлами ИСТ-ы канала, а также источник питания магнитной системы БЭП.

В 2009 году Завод Низковольтной Аппаратуры (НВА, Рассказово, Тамбовской обл.) поставил в ИЯФ (с некоторой задержкой по времени) два источника тока - новая модификация источника ИСТ – (1000А/200кВт и 1000А/100кВт): в ИЯФ разработана и изготовлена электроника в стандарте «Евромеханика», на заводе НВА разработана силовая часть. Источники планируется использовать для новых проектов, в конце 2009 года начаты испытания одного из них. С заводом заключен новый договор на поставку четырех 400А источников, также базирующихся на управляющей электронике ИЯФ.

2) Как было отмечено в предыдущем отчете, для источника ТПВ (7кА/1МВт; комплекс ТНК) в 2008 году были изготовлены крейт и комплект блоков. В 2009 году заводом НВА был изготовлен выпрямитель, а сотрудниками ИЯФ произведен внутренний монтаж шкафов. Дальнейшие работы по сборке входных/выходных шин и других фрагментов системы питания, а также испытание источника планируются на 2010 год. Место сборки и испытаний - Зеленоград.

3) Следует отметить, что в 2008 – 2009 годы велась интенсивная разработка проектов источников питания по контракту HITS (Heavy Ion Therapy System): преобразователя с частотой 10 Гц и Мегаваттной реактивной мощностью, а также источника с перестройкой тока в доли секунды. Нетрадиционные для ИЯФ работы прерваны остановкой контракта, однако было решено спроектировать и изготовить прототип источника с частотой 10 Гц для испытаний прототипа поворотного магнита Бустера. В 2009 году основные компоненты источника были изготовлены, это позволит собрать и испытать прототип в 2010 году.

4) Продолжалась разработка и размещение на установках Института источников питания с выходной мощностью до 10кВт, выполненных по Switch Mode технологии:

- Закончена поставка в фирму “Криомагнит” (г. Москва) четырехквadrантных источников тока (300А/8В), предназначенных для питания сверхпроводящих соленоидов: два источника поставлены в 2008 году и два – в 2009 году.
- Похожая разработка с поставкой двух четырехквadrантных источников была проведена для питания сверхпроводящего вигглера, поставленного из ИЯФ по контракту в КЦСИ и НТ (г. Москва).
- Была разработана новая версия четырехквadrантного источника для питания сверхпроводящих соленоидов ускорительного комплекса ВЭПП-2000, изготовлен опытный образец, подготовлена документация для серийного производства.
- В летний период была проведена модернизация 32-х источников ВЧ-300-12 на комплексе ВЭПП-2000.

- Источники однополярного тока с максимальными параметрами 300А/18В для питания элементов магнитной системы ЛСЭ. В 2008 году семь таких источников установлены на комплексе, остальные пять (из серии) поставлены на ЛСЭ в первой половине 2009 года. Напомним, что пять источников из этой серии поставлены в ОИЯИ (г. Дубна) и успешно работают на комплексе ИРЭН.

Заметим, что 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 относительная нестабильность выходного тока источников не превышает  $5...10 \times 10^{-5}$ .

5) В рамках Switch Mode технологии найдено и реализовано интересное решение – разработан источник переменного тока мощностью более 10 кВт, рабочая частота 400 Гц, для питания первичной обмотки ЭЛВ, работающего в режиме «Тандема» с выходным напряжением ЭЛВ более миллиона вольт. Источник является комбинацией силового узла, разработанного для энергоблока электронно – лучевой сварки и специально разработанного узла синхронного детектора мощностью более 10 кВт, работающего на несущей частоте 20 кГц. Изготовлен рабочий макет источника, обеспечивающий «Тандем» необходимой мощностью. В начале 2010 года будет реализован рабочий вариант источника.

6) Продолжались разработка, усовершенствование и изготовление небольшими сериями сравнительно маломощных источников тока, обеспечивающих питание корректирующих электромагнитов и/или специальных устройств. Итоговые цифры этого направления разработок выглядят следующим образом:

- Изготовлен комплект источников тока для питания мультипольных линз БН ТНК. Комплект содержит источники тока **MPS-20-100 ( $\pm 20A$ , 100V) в количестве 11 штук, а также источники тока MPS-20-50 ( $\pm 20A$ , 50V) в количестве 3 шт. Перечисленные источники тока подготовленные к отправке, включая два шкафа Eurogack 38U.**

- Разработан прототип электропривода двигателя постоянного тока для установки ЭЛС ЭП-1. Привод позволяет регулировать скорость вращения электродвигателя, контроль и управление приводом осуществляется по CANbus.

- Начата разработка источников питания корректирующих электромагнитов для проекта COSY (установка электронного охлаждения для Германии). Планируется, что это будут источники серии MPS (6A), прототипы которых хорошо зарекомендовали себя на комплексе ВЭПП-2000.

- Изготовлен и настроен комплект источников тока для питания корректоров БН ТНК. Всего около 200 каналов (5A, 30B). Большая часть из них отправлена в Зеленоград и ожидает окончания монтажа магнитной системы и трасс.

- Введена в эксплуатацию еще одна стойка (32 канала) питания корректоров (5A, 30B) на инжекционном комплексе. Итого, это уже полный комплект из трех стоек.

- Введена в работу спиральная развертка пучка на установке БНЗТ, это два канала регуляторов тока мощностью по несколько киловатт каждый. Процессор развертки обеспечивает постоянство линейной скорости движения пучка, что обеспечивает хорошую равномерность дозы облучения на всём поле мишени.

- Изготовлено и введено в эксплуатацию около 20 каналов двуполярных источников тока типа УМ-1, УМ-3 и УМ-10 с выходными токами 1А, 3А и 10А соответственно. Источники установлены на комплексах: ЛСЭ, ЭЛС, ЛИУ.



## 7.1.2 Высоковольтные источники постоянного стабилизированного напряжения

В лаборатории успешно ведутся разработки высоковольтных источников постоянного стабилизированного напряжения с диапазоном мощностей:

- десятки ватт - питание электростатических устройств отклонения или фокусировки пучков заряженных частиц;
- от сотен ватт до десятков киловатт - питание силовых высоковольтных устройств.
- сотни киловатт - высоковольтное питание инжекторов нейтральных атомов, питание анодных цепей ВЧ и СВЧ усилителей.

Устройства обладают высокой стабильностью и точностью регулирования, они защищены от пробоев и коротких замыканий, имеют компьютерный контроль токов и напряжений, разветвленный статусный контроль.

### Электроника для диагностических и нагревных инжекторов нейтральных атомов

Развитие тематики диагностических и нагревных инжекторов нейтральных атомов в предыдущие годы создало в 2007-2009 годы длительный пик загрузки участников этих работ, как в части разработок, так и в изготовлении и поставках. Похоже, что вершина пика еще впереди. В перечисленных ниже разработках порой трудно провести линию разграничения – где кончается разработка электроники и где – разработка собственно инжектора.

В 2009 году проведены следующие работы в рамках тематики инжекторов:

1. Разработан, изготовлен, налажен и сдан в эксплуатацию на установке MST (Мэдисон, США) комплект электроники атомарного инжектора для нагрева плазмы с параметрами: 25кВ/52А/20мс. Инжектор оснащён двумя идентичными генераторами плазмы (два плазменных генератора на основе дугового разряда), поэтому потребовалось изготовить два комплекта электроники, обеспечивающей работу генераторов плазмы на основе дугового разряда. Разработан и изготовлен оригинальный источник высоковольтного питания на основе распределённого накопителя энергии, состоящий из 24 секций. Инжектор оснащён источником питания «запорной» сетки (600В/10А), источниками питания газовых клапанов, соленоидов магнитной изоляции, комплектом блоков электроники (порядка 10шт) для управления, измерения и защиты.

Всего в состав электроники "нагревного" инжектора для MST входят следующие источники питания:

- Источники тока дугового разряда со стабилизированным током до 600А (2 шт.);
- Инверторы зарядки накопителей дугового питания и накопителей высоковольтного источника питания с мощностью до 7 кВт (2 шт.);
- Источник питания «запорной» сетки с регулируемым напряжением до 600 В, током до 10 А и функцией быстрой защиты и восстановления после пробоя;
- Источники тока питания соленоидов магнитной изоляции с током до 15 А (напряжение 30 В), 2 шт.;
- Платы питания (управления) клапанами напуска газа, всего 5 шт.;
- Блоки быстрой защиты, измерения параметров, блокировок.

2. Завершена разработка и идёт изготовление двух систем высоковольтного питания «нагревных» инжекторов для токамака "Compass-D" (Прага, Чешская республика). Параметры источников питания: 40кВ/15А/500мс. Источники высоковольтного питания состоят из двенадцати штук последовательно соединенных высокочастотных выпрямителей, пи-

тающихся от двенадцати штук регулируемых 10 кГц-инверторов.

В 2009 году сконструированы шкафы ввода питания (питаются от мотор-генератора), инверторы 10 кГц / 60 кВт / 500 мс. Идет изготовление таких инверторов и блоков управления, измерения, защиты. Сконструирован и испытан прототип повышающего трансформатора 10 кГц / 500 В / 4 кВ, начато изготовление 24 трансформаторов. Выпрямители 4 кВ / 15 А (без трансформаторов) изготовлены. Проведено испытание одного выпрямительного канала (инвертор+трансформатор+выпрямитель), получены номинальные параметры для одного канала.

3. Идет изготовление двух комплектов оборудования электроники для «нагревных» инжекторов в ТАЕ (контракт «ТАЕ2»). Основные параметры инжекторов: 20 кВ / 60 А / 5 мс. Источник дугового тока обеспечивает стабилизированный ток до 1200 А (напряжение 150 В), источник высоковольтного напряжения – аналогичный источнику для Мэдисона 20 кВ / 60 А / 5 мс. Разработаны, изготовлены и идет наладка двадцати штук различных модулей электроники для питания, управления, измерения параметров, защит.

4. В 2009 году проведена модернизация (полная переделка) источника дугового тока диагностического инжектора в MST (Мэдисон, США). Повышена стабильность, увеличена мощность. Модернизирован источник высоковольтного питания – повышена выходная мощность.

5. Идет изготовление/наладка седьмого комплекта высоковольтного питания 40 кВ / 40 А / 1 с по типу ТАЕ-1 для использования в ИЯФ на стенде в комнате 101, ДОЛ. Собраны 48 полок, половина проверена.

### **Электроника Энергоблоков для ЭЛС**

В 2009 году совместно с сотрудниками НИТИ «Прогресс» (г. Ижевск) велась интенсивная работа по адаптации энергоблоков и установок электронно-лучевой сварки (ЭЛС) на предприятиях страны.

Как успешный итог многолетней работы сотрудников ИЯФ и НИТИ «Прогресс» по этой тематике, пять установок ЭЛС с нашими энергоблоками работают в технологических цепочках на предприятиях России. Одна установка ЭЛС, поставленная в НИТИ в 2009 году, проходит испытания на их стенде и еще один энергоблок тестируется на стенде ИЯФ. Его отправка в НИТИ «Прогресс» планируется на первую половину 2010 года.

Одновременно в течение отчетного года продолжалась разработка, усовершенствование и изготовление элементов и узлов энергоблоков и их систем питания, управления и контроля для установок ЭЛС и для сопряженных тематик. Наиболее интересные (наиболее значимые) разработки, проводимые в этом направлении в 2009 году:

- Начата разработка выпрямителя и преобразователя 60 кВ / 60 кВт для высоковольтного источника. Собранные варианты выпрямителя и преобразователя испытаны при выходной мощности 25 кВт. После закупки низковольтной нагрузки на 60 кВт испытания будут продолжены. Преобразователь источника выполнен в шкафу Евромеханики по модульному принципу. Он состоит из входного фильтра, выпрямителя и стабилизатора напряжения на основе чоппера, смонтированных непосредственно в стойке. Во вставных крейтах собран 20 кГц инвертор с блоком управления и индикации, а также блок согласования с высоковольтным трансформатором. Высоковольтный трансформатор выполнен в виде секционированного трансформатора, размещенного в баке с кремнийорганической изолирующей и охлаждающей жидкостью типа «СОФЭКСИЛ-ТСЖ».

- Эта установка явилась прототипом для создания источника переменного тока (20 кГц, 40 кВт), необходимого для питания высоковольтной колонны с напряжением до 2 МВ в проекте COSY (контракт). Следует также отметить, что в 2009 году начата разработка

еще одного варианта электроники высоковольтной секции системы электронного охлаждения COSY, а также очень сложного комплекта силовой, управляющей и измерительной электроники, планируемой к размещению в «Голове» высоковольтной колонны. Работы по COSY будут продолжены в 2010 году и в последующие годы.

- Спроектирована новая версия контроллера источника переменного тока (20 кГц) для Энергоблоков. В нем заложены дополнительные входы контроля пульсаций выпрямленного напряжения (300 Гц), более точное измерение выходного тока, лучшая стабильность работы в условиях многократных и постоянных пробоев.

- Разрабатывается комплект электроники синхронного выпрямителя для стенда испытания магнитов. Новая электроника обеспечивает генерацию синусоидального гальванически отвязанного от сети сигнала частотой от единиц герц до сотен герц, амплитудой до 150 В, мощностью до 15 кВт. Комплект электроники состоит из блока ввода сети и блока инвертора, собранных на основе аналогичных блоков высоковольтного источника для энергоблока ЭЛС, и блока синхронного выпрямителя. Прототипом для этого устройства послужила наша же разработка источника переменного тока для питания «Тандема» в рамках проекта NITS.

- Разработан, испытан и введен в работу источник питания накала для катода с импульсным током эмиссии до 2 кА. Мощность, потребляемая от источника – до 2 кВт в непрерывном режиме. Особенность источника состоит в том, что подъем тока накала в нем должен осуществляться в течение нескольких минут (регулируемый параметр) при непрерывном контроле функционирования. Контроллер источника имеет 2 канала ЦАП, 5 каналов АЦП и 5 бит регистры ввода/вывода. Связь осуществляется по CAN и RS232.

- Закончена разработка систем высоковольтного питания (второй модификации) для источника отрицательных ионов (контракт с фирмой IVA, Бельгия). Это несколько регулируемых прецизионных стабилизаторов с напряжением до 40кВ, мощностью до 2 кВт. В конце 2009 года команда сотрудников успешно провела приемо-сдаточные испытания источника отрицательных ионов представителям фирмы. В 2010 году предстоит поставка одного из источников в Бельгию.

- В конце 2009 года возобновлена разработка электроники для К-500 (каналов транспортировки электронов и позитронов), закуплены комплектующие, успешно изготовлен и испытан прототип импульсного генератора для магнитных элементов каналов. Накопительная емкость генератора – 100 мкФ, максимальное напряжение – 700 В с предварительным выбором полярности импульса тока. Рабочая частота повторения импульсов – 1 Гц. Управление и контроль – через контроллер SEAC124. Электроника выполнена в «Евромеханике». Заказ на изготовление небольшой партии импульсных генераторов размещен в ЭП-2.

- Другой вариант импульсного генератора с такой же накопительной емкостью разработан для фокусирующей системы ЛИУ. Изготовлено и поставлено на ЛИУ четыре генератора, идет их адаптация к системе и получение требуемой точности работы.

Следует также упомянуть, что в 2009 году продолжалась техническая поддержка в рабочем состоянии ранее изготовленных ранее 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 нами 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 150 различных блоков с интерфейсом CAN-BUS для систем управления электрофизическими установками и для их контроля. За истекший год семейство пополнилось двумя новыми модулями: CEDIO\_A - многопортовый регистр ввода/вывода и GZI-CAN- 4-канальный генератор задержанных импульсов, диапазон задержки - 80 нс – 10,28 мкс.

- Следует отметить, что устройства этого семейства широко используются и при выполнении контрактных работ. За последние годы более половины произведенных модулей (всего 800 штук) в комплекте с различными источниками питания и в составе контрольно-измерительных комплексов поставлены в ОИЯИ (Россия), КИСИ (Москва), ТНК (Зеленоград), НИТИ «Прогресс» (Ижевск), KAERI (Южная Корея), IMP (Китай).

- В Институте интенсивно эксплуатируются несколько новых 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;
- прецизионный (0,001 %) генератор тока для работы с датчиками Холла;
- прецизионный интегратор с цифровым выходом.

- Разработан прототип системы, ориентированной на измерения многополюсных магнитных элементов. В состав системы входит точная и быстродействующая электроника, позволяющая проводить измерения «на лету», датчик Холла, измеряющий две ортогональные компоненты поля в одной «точке» пространства и лазерный интерферометр, считывание координаты с которого выполняется синхронно с измерением поля. Система позволит не только в несколько раз сократить время, но и заметно повысит точность измерений.

Таблица 2. Семейство устройств с CAN-BUS интерфейсом

Название	Краткая характеристика
CANDAC16	16-канальный, 16-разрядный ЦАП, 8-битовые входной и выходной регистры
CANADC40	40-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,03%), 8-битовые входной и выходной регистры
CDAC20 CEDAC20	20-разрядный ЦАП, 5-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 8-битовые входной и выходной регистры (Вишня и евромеханика)
CEAC51	20-разрядный ЦАП, 5-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 8-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U)
CAC208 CEAC208	8-канальный 16-разрядный ЦАП, 20-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 8-битовые входной и выходной регистры (Вишня и евромеханика)
CEAC124	4-канальный 16-разрядный ЦАП, 12-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 4-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U)
CEAC121	1-канальный 16-разрядный ЦАП, 12-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 4-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U), ориентирован для управления быстрыми источниками
CEAD20	20/40-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,003%), 4-битовые входной и выходной регистры (евромеханика 3U)
CGVI8	8-канальный, 16-разрядный генератор задержанных импульсов, 8-битовые входной и выходной регистры
CPKS8	8-канальный, 16-разрядный преобразователь код-скважность
SLIO24	Интерфейс CANbus - 24-разрядная двунаправленная шина, встраиваемая плата
CKVCH	Коммутатор высокочастотных сигналов 8-1, 2*(4-1), 4*(2-1)
CANIPP	Интерфейс CANbus- 2 ветви типа ИПП
CANIVA	16-канальный измеритель вакуума (тока магниторазрядного насоса)
CURVV	Универсальный регистр ввода/вывода (2 выходных и 4 входных регистра по 8 бит)
CIR8	Регистратор дискретных сигналов (регистр прерывания, СДС, регистры ввода/вывода)
CAC168	8-канальный 16-разрядный ЦАП, 16-канальный, 24-разрядный АЦП (класса 0,03%), входной и выходной регистры, встраиваемая плата
CAN-DDS	Модуль CAN-DDS представляет собой делитель входной тактовой частоты с дистанционно перестраиваемым дробным коэффициентом.
CAN-ADC3212	Для замыкания цепи обратной связи в схеме термодостройки высокочастотных резонаторов.
CANGW	Шлюз Ethernet - CAN/RS485
VME-CAN	Интерфейс VME-CAN.
CEDIO_A	Многопортовый регистр ввода/вывода.
GZI-CAN	4-канальный генератор задержанных импульсов, 80 нс – 10,28 мкс

• Изготовлены опытные образцы модулей VSDC2, предназначенных для оснащения систем измерения импульсных магнитных полей в каналах ускорительно- накопительных комплексов ИЯФ. Проведено их успешное тестирование на комплексе ВЭПП-2000. Устрой-

ство должно заменить устаревшей модуль БИИП-4.

- Продолжались пуско-наладочные работы по системе управления ТНК (Зеленоград). Проведён монтаж и тестирование нового оборудования, разработан блок генератора тактовых импульсов (ГТИ) на новой элементной базе с CAN-интерфейсом, подготовлен евро-крейт для измерения импульсных параметров устройств впуска/выпуска с комплектами новых блоков ИВИ и БИИП. Крейт предназначен для замены работающего сейчас КАМАК-оборудования в рамках плана модернизации системы управления ТНК.

- Продолжены работы по созданию системы управления четырехдорожечного ЛСЭ. Начата работа по созданию измерителя фазы пучков на резонаторной дорожке ЛСЭ.

- Продолжена разработка системы управления линейным индукционным ускорителем (ЛИУ).

- Запущена аппаратура управления стендами для проверки индукторов и модуляторов ЛИУ. Проводится изучение работы аппаратуры в реальных условиях мощных импульсных наводок и высоковольтных пробоев.

- Для системы управления ЛИУ изготовлена партия из 35 шт. РМС – плат ADC-200ME – 12-разрядных цифровых регистраторов с 5-нс интервалом между отсчётами. Платы устанавливаются на носитель в Compact PCI крейт.

- Разработаны и выпущены в необходимых количествах РМС - платы 16-канальных таймеров DL-200ME и формирователей к ним, предназначенных для построения системы синхронизации ЛИУ. Таймеры обеспечивают дискретность регулировки задержки 5нс на базе 150 мкс.

- Подготовлено необходимое программное обеспечение для работ по наладке и тестированию плат ADC-200ME и DL-200ME.

- Для замены дорогостоящих носителей РМС-плат, необходимых в больших количествах в системе управления ЛИУ, выполнена разработка собственного модуля, полностью соответствующего стандарту Compact PCI. Проводится наладка опытного образца этого модуля.

- Продолжена работа по внедрению современных интеллектуальных контроллеров в системах управления физических установок. Изготовлена очередная партия контроллеров и шлюзов CAN-Ethernet для различных установок института.

- Продолжены работы по созданию цифровых регистраторов оптических изображений с интерфейсом Fast Ethernet. Выпущена очередная партия блоков для наблюдения пучков синхротронного излучения на комплексах ВЭПП-4, ВЭПП-2000.

- Начаты работы по написанию управляющих микропрограмм для системы регистрации на основе линейного ПЗС ILX554 для перспективной модернизации системы стабилизации рентгеновских пучков источника СИ ВЭПП-3, а также микропрограмм для камеры с быстрой регистрацией одно- и двумерных изображений для поворотной диагностики пучков в накопителях.

- Изготовлена и испытана в реальных условиях система для поиска положения шва в установке электронно-лучевой сварки в ЭП-1. Полученные результаты дают основания надеяться, что производство получит еще один полезный и удобный инструмент.

- Изготовлена и успешно эксплуатируется электроника для работы с магниевого мишенью в тандеме. Устройство имеет в своем составе многоламельный датчик тока, который должен надежно фиксировать ток в несколько десятков наноампер и одновременно выдерживать высоковольтные пробои до 1 млн вольт.

- Разработана и испытана система для время-пролетного анализа состава ионов на выходе тандема - инжектора NITS. Система включает в себя формирователь импульсов (1 кВ, 20 нс) для модулятора источника ионов углерода и набор быстрых малощумящих усилителей для регистрации малых модулированных токов с цилиндров Фарадея. Проведено несколько циклов измерений состава ионных пучков.

- 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. Первые 5 сигнальных образцов успешно испытаны на действующей установке. Принято решение продолжить изготовление и заменить все устаревшие модули, что, несомненно, повысит надежность работы систем питания.

- Изготовлено требуемое количество шлюзов-мультиплексоров для системы сбора данных на детекторе КМД-3. Проверяется и корректируется встроенное программное обеспечение при работе в реальных условиях.

- Изготовлено и отправлено заказчикам 8 экземпляров управляющей системы 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.

- Изготовлены широкополосные усилители для фотоприемников на основе лавинных фотодиодов для реализации современных пучковых диагностик на накопителе ВЭПП-4.

- Продолжена разработка нового поколения источников питания и модулятора электронной пушки инжектора лазера на свободных электронах.

- Разработана и изготовлена система для управления электронной пушкой и каналом в рамках контракта модернизации охладителя ионов в IMP (Ланьчжоу, Китай). Система включает в себя около 20 модулей электроники, в том числе и быстрые высоковольтные формирователи (3 кВ) с регулируемой амплитудой.

- Для работ с газовыми системами детектора “Кедр” изготовлена и настроена очередная партия модулей, предназначенных для измерения и управления газовыми потоками. Для модулей написаны тестовые программы.

- Изготовлен и передан для испытаний на установке измеритель временных интервалов в наносекундном диапазоне с интерфейсом CAN-BUS.

- Разработана электроника и датчики положения пучка, основанные на измерении токов изображения (очередная версия). Разработка рассчитана для применения на канале К-500. Заказы сданы в производство. Ранее созданная аппаратура и датчики установлены на канал транспортировки пучка «БЭП – ВЭПП» комплекса ВЭПП-2000 и успешно используются для проводки пучка.

- Продолжена разработка системы обратной связи, предназначенной для подавления неустойчивости поперечного движения пучка в накопителе ВЭПП-4. В рамках этой работы в 2008 году на комплексе ВЭПП-4 проведена серия экспериментов с пучком в одно-сгустковом режиме. Получены хорошие результаты: система позволяла увеличить число частиц в одном сгустке в два-три раза, в зависимости от режима. Полученная информация послужила основой для разработки новой версии процессорной части аппаратуры и нового программного обеспечения. В конце 2009 года начата отработка системы на ВЭПП-4 с пучком.

- Изготовлен и поставлен на ЛИУ широкополосный датчик тока и положения пучка.

- На комплексе ЛСЭ в 2008 – 2009 годах велась наладка систем диагностики пучка для третьей и четвертой дорожек и, базирясь на результатах измерений орбиты пучка, настройка всего комплекса.

- Введены в работу в 2009 году системы измерения бетатронных частот в накопителях Сибирь-1, Сибирь-2 методом синусоидальной раскачки. Системы разработаны, изготовлены и поставлены по контракту с КЦСИ (Москва) в 2008 году. В системах использовано около 20 блоков высокочастотной прецизионной электроники новейшей разработки.

- Разработана система измерения равновесной орбиты пучка для накопителя ТНК (Зеленоград). Изготовлен и испытан на ВЭПП-4 опытный образец этой электроники. Начато производство блоков для всей системы.

- Начата разработка и изготовлен опытный образец электроники для измерения положения пучка на ВЭПП-4. Планируется, что система будет способна измерять независимо орбиты электронов и позитронов.
- Разработана новая версия ЯМР магнитометра. Новый 4-канальный ЯМР магнитометр поставлен по контракту в Университет Флориды (США). Напомним, что в зависимости от комплектации электроники и от разновидности датчиков магнитометр охватывает диапазон полей от 0,02 Т до 11 Т. Относительная погрешность измерений не превышает  $10^{-5}$  или даже  $10^{-6}$  в зависимости от уровня поля и его однородности.
- ЯМР магнитометром осуществлен также цикл измерений полей в поворотных магнитах на Лазере на свободных электронах. На основе измерений сделан вывод об эффективности постановки дополнительного магнитопровода поворотного магнита.
- Начата разработка нового блока согласования и быстрой защиты для модулятора клистрона 5045 (Инжекционный комплекс) с целью замены блоков, разработанных около 15 лет назад. Опытный образец блока практически готов к отладке и тестированию.
- Начата разработка коммутатора для питания вакуумных ионно – геттерных насосов. Монтируется прототип его управляющей электроники на номинальный ток 50 А при напряжении порядка 30 В.
- Для университета штата Монтана (США, контракт) начаты разработка и изготовление системы, включающей 12 емкостных и 12 ультразвуковых гидростатических датчиков, модернизированных по сравнению с предыдущей версией. Система снабжена собственным программным обеспечением. Срок окончания контракта – первое полугодие 2010 года.
- Также по контракту с КЕК (Япония) готовится поставка 10 емкостных гидростатических датчиков. Срок окончания контракта – первое полугодие 2010 года.
- Продолжается сотрудничество по технической поддержке гидростатической системы мониторинга положения магнитных элементов на коллайдере Tevatron (Фермилаб, США). Система создавалась сотрудниками ИЯФ и функционирует в Фермилаб уже более 10 лет. Готовится поставка в 2010 году модернизированной электроники с целью увеличения радиационной устойчивости датчиков.
- Продолжена разработка полупроводникового ВЧ генератора для ионного источника диагностического инжектора стелларатора W7-X (Германия).
- 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**

#### **Наиболее важные работы, выполненные в 2009 году:**

1. Продолжены работы по дальнейшему развитию программ для расчета электростатических и магнитостатических полей, электронных и ионных пушек. В том числе:
  - Создан новый комплекс программ MAGEL3D, позволяющий проводить трехмерные расчеты систем из магнитов (с учетом эффекта насыщения сердечника) и электродов, а также траекторный анализ заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. В нем



развита возможность ввода геометрии электродов по контурам и образующим, в том числе с помощью АСАD чертежей электродов.

- Закончена разработка программы BEAM3D, позволяющей проектировать трехмерные системы транспортирования пучков заряженных частиц, состоящих из элементов, предварительно рассчитанных с помощью программы MAGEL3D, с учетом теплового разброса поперечных скоростей частиц пучка.

- Осуществлено дальнейшее развитие комплекса программ UltraSAM\_RF для расчёта ВЧ-систем с учётом пространственного заряда пучка в квазистатическом приближении.

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) с помощью программ SAM, MAGEL3D и BEAM3D была разработана новая система формирования, ускорения и транспортировки 10А квазистационарного ионного пучка мощностью 10МВт с учетом поперечной температуры и объемного заряда пучка. Система включает в себя большое количество магнитов и электродно-оптических элементов сложной конструкции.

- С помощью программы SAM разработана малогабаритная электростатическая трубка для ускорения и формирования высокоэнергетичного ионного пучка малой мощности.

- С помощью программы BEAM3D проводился сравнительный анализ и объяснение экспериментальных результатов по транспортировке ионов водорода в тандемном ускорителе установки для БНЗТ.

- С помощью программы UltraSAM проводились расчеты коллектора установки электронного охлаждения для накопителя COSY.

- С помощью программы UltraSAM\_RF проводилось моделирование эмиссии и динамики электронного пучка в пушке ЛСЭ.

## 7.4 Модернизированная ВЧ система накопителя Сибирь-2 – источника СИ

Завершена модернизация ВЧ системы накопителя Сибирь-2. Целью модернизации являлось:

- 1) повышение надежности работы за счет замены двух старых двухкамерных резонаторов на три новых биметаллических резонатора, аналогичных резонаторам, установленным на микротроне-рекуператоре Новосибирского ЛСЭ.

- 2) повышение суммарного ускоряющего напряжения с 1,2 МВ до 1,5 МВ, чтобы обеспечить работу накопителя Сибирь-2 со сверхпроводящим вигглером. Предусмотреть возможность повышения этого напряжения до 1,8 МВ.

В 2007 году один старый резонатор был заменен на секцию из двух биметаллических резонаторов. В сентябре 2009 года вместо второго старого резонатора был установлен еще один биметаллический резонатор. Этот одиночный резонатор установлен в накопительное кольцо таким образом, что расстояние между его центром и центром первого резонатора секции равно рабочей длине волны  $\lambda = 1655$  мм (рис. 1). В эти два резонатора ВЧ мощность поступает от одного генератора 200 кВт. Второй резонатор секции запитан от другого генератора мощности 200 кВт.

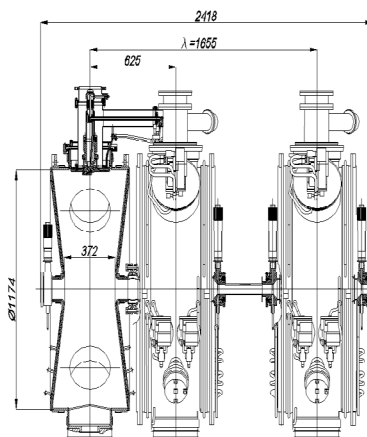


Рис. 1. Расположение трех резонаторов в кольце накопителя.

Обновленные параметры накопителя и параметры модернизированной ВЧ системы приведены в таблице 1.

Таблица 1: Параметры накопителя Сибирь-2 и параметры модернизированной ВЧ системы.

Параметры накопителя Сибирь-2	Энергия электронов	$E_{\text{макс.}}$	ГэВ	2,5
	Суммарные потери на оборот	$\Delta E_{\text{м}} + \Delta W$	кэВ	1021
	Ток пучка	$I_{\text{пуч. макс.}}$	А	0,29
	Суммарное ускоряющее напряжение	$2U_1 + U_2$	кВ	1500
Первый канал ВЧ: генератор 200 кВт и два резонатора	Ускоряющее напряжение на 2-х резонаторах	$2U_1$	кВ	820
	Эффективное шунтовое сопротивление	$2R_{\text{эфф.}}$	МОм	8,6
	Тепловые потери в 2-х резонаторах	$2P_{\text{рез,1}}$	кВт	39
	Мощность передаваемая в пучок	$2P_{\text{пучка}}$	кВт	157
Второй канал ВЧ: генератор 200 кВт и один резонатор	Ускоряющее напряжение	$U_2$	кВ	680
	Эффективное шунтовое сопротивление	$R_{\text{эфф.}}$	МОм	4,3
	Тепловые потери в резонаторе	$P_{\text{рез,2}}$	кВт	54
	Мощность передаваемая в пучок	$P_{\text{пучка}}$	кВт	139

При меньших токах пучка суммарное ускоряющее напряжение может быть повышено, что позволит в перспективе устанавливать в кольце накопителя дополнительные устройства - источники СИ.

Конструкция резонаторов описана в Научном отчете института за 2008 год. Основные параметры резонаторов приведены в таблице 2.

Таблица 2: Параметры резонатора

Рабочая частота	$f$	181,139 МГц
Перестройка частоты	$\Delta f$	$\pm 150$ кГц
Ускоряющее напряжение $U \cdot T$		0,1 ÷ 0,9 МВ
Коэфф. пролетного времени	$T$	0,9
Добротность резонатора	$Q$	40000
Шунтовое сопротивление	$R_{\text{э}}^*$	4,3 МОм
Потери в стенках резонатора при $U \cdot T = 0,9$ МВ	$P$	94 кВт

\* $R_{\text{э}} = (U \cdot T)^2 / 2P$

ВЧ система имеет два канала. В каждом канале установлен ВЧ генератор с выходным каскадом на двух тетрадах ГУ-101А и выходной мощностью 200 кВт. Конструкция генератора подробно описана в [В.С.Арбузов и др. “Мегаватные ВЧ системы для ускорителей, разработанные в ИЯФ СОРАН г Новосибирск”, RuPAC-2002, Сборник докладов т.1, ст.63, Обнинск, 2004г.]. Генераторы расположены на значительном расстоянии от ускоряющих резонаторов. Мощность ВЧ передается в помещение накопительного кольца по прямоугольным волноводам сечением 986 мм x 150 мм. Резонаторы соединены с волноводами отрезками коаксиальных линий с волновым сопротивлением 75 Ом.

Новая схема установки резонаторов потребовала спроектировать другую систему коаксиальных фидеров, обеспечивающую распределение ВЧ мощности между резонаторами и оптимальное суммирование ускоряющих напряжений.

Конструктивная схема коаксиального участка с волноводно-коаксиальным переходом показана на рис. 2.

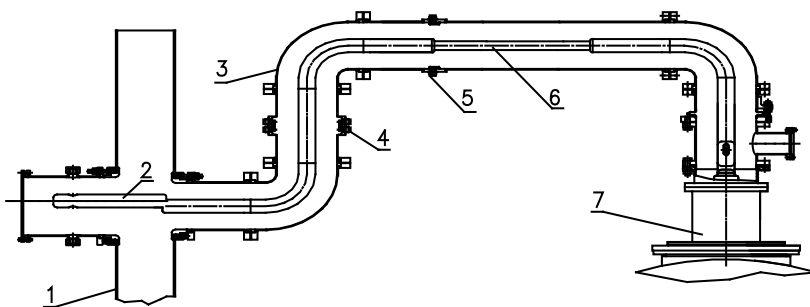


Рис. 2. Схема ВЧ тракта между волноводом и резонатором: 1 – волновод, 2 – антенна волноводно-коаксиального перехода, 3 – коаксиальная линия с волновым сопротивлением 75 Ом, 4 – направленный ответвитель, 5 – измерительная петля, 6 – согласующий трансформатор с волновым сопротивлением 100 Ом, 7- ускоряющий резонатор.

В первом канале волноводно-коаксиальный переход одновременно является делителем мощности между двумя резонаторами и обеспечивает согласование ВЧ тракта при мощности 100 кВт в каждом резонаторе. Во втором канале параметры волноводно-коаксиального перехода выбраны так, чтобы ВЧ такт был согласован при максимальной мощности 200 кВт, поступающей в единственный резонатор.

Деление мощности осуществляется путем подключения двух коаксиальных линий в одно поперечное сечение волновода симметрично относительно середины его широкой стенки. Эквивалентная схема двойного волноводно-коаксиального перехода может быть представлена в виде шестиполюсника. Сечения расположения полюсов в коаксиальных линиях и в волноводе можно выбрать в таких местах, чтобы эквивалентная схема на рабочей частоте соответствовала изображенной на рис. 3. Расчетные сечения подключения коаксиальных линий смещены внутрь волновода на 45 мм – полюса 2 и 3. Полюс 1 – подключение к волноводу - расположен в сечении положения осей коаксиальных линий. Нормировка импедансов проводится на волновое сопротивление в каждой эквивалентной линии. Тогда коэффициент трансформации от разветвления линий, эквивалентных коаксиальным, к волноводу равен  $\sqrt{2}$ .

Токи возбуждения резонаторов измеряются в сечениях коаксиальных линий, соответствующих узлам напряжения при полной расстройке резонаторов. Расстояние от полюсов 2 и 3 до сечения в линиях, где расположен этот узел напряжения, выбрано кратным нечетному числу четвертей длины волны в фидере. В этом случае токи возбуждения резонаторов одинаковы, определяются только напряжением на полюсе 1 и не зависят от величин  $Z_2$  и  $Z_3$ . Тогда напряжение на резонаторе пропорционально только его входному сопротивлению. Если установить эквивалентную длину линии между анодом выходной

лампы генератора и полюсами 1 кратную половине длины волны, то величина напряжения на полюсах 1 будет всегда ограничена максимальной амплитудой на аноде.

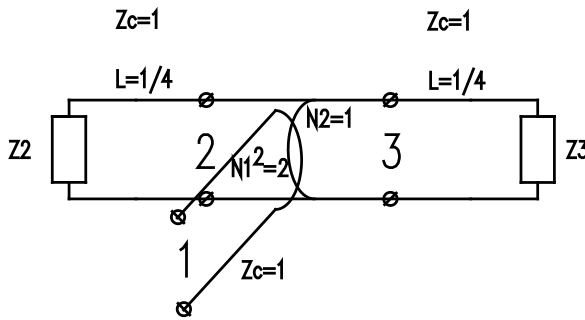


Рис. 3. Эквивалентная схема волноводно-коаксиального перехода: 1 – клеммы волновода, 2 и 3 – клеммы коаксиальных линий,  $Z_c$  – нормированное волновое сопротивление,  $Z_2$  и  $Z_3$  – входное сопротивление резонаторов.

Изготовлены и запущены новые электронные блоки управления ВЧ системой. Система управления регулирует амплитуду и фазу ускоряющих напряжений резонаторов, осуществляет их автоматическую подстройку, а также вырабатывает сигналы для синхронизации инъекции электронных сгустков из инжектора.

Особенностью режима работы ВЧ системы является сравнительная большая подгрузка резонатора пучком. При этом может возникнуть неустойчивость фазового движения сгустков и их ускорение станет невозможным. Это происходит из-за того, что при случайном смещении фазы сгустков в некоторую сторону ток, наводимый на резонаторе пролетающими заряженными частицами, изменяет результирующее напряжение резонаторов по амплитуде и по фазе так, что равновесная фаза пучка смещается в ту же сторону. Величина этого отклонения может оказаться больше, чем первоначальное отклонение пучка, что и создает статическую неустойчивость.

Расчеты показали, что при правильном выборе параметров цепи обратной связи, стабилизирующей амплитуду ускоряющего напряжения, можно подавить эту неустойчивость в рабочем диапазоне токов пучка. Результаты расчета показаны на рис. 4.

При расчетах производилось моделирование движения сгустка электронов в накопителе Сибирь-2. Начальное отклонение сгустка для обоих графиков задано равным 3 градусам. Переходный процесс состоит из затухающих синхротронных колебаний и при отсутствии обратной связи (график 1) движение пучка далее неустойчиво. Введение обратной связи (график 2) подавляет неустойчивость. Ток пучка в первом случае – 0,24 А, для второго – 0,3 А.

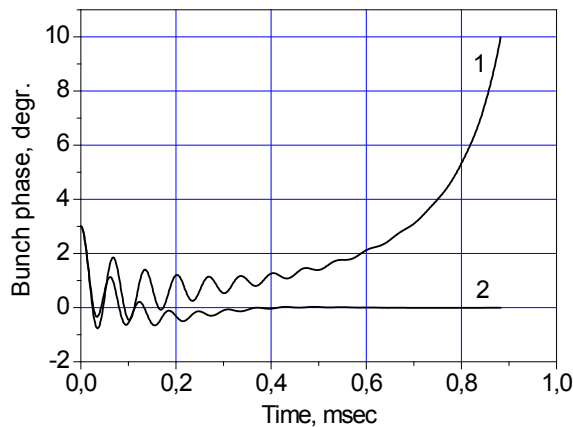


Рис. 4. Фазовое движение сгустка: 1 – без обратной связи, 2 - с обратной связью.

Сейчас накопитель Сибирь-2 работает в штатном режиме и в декабре 2009 года получен максимальный ток 120 мА на энергии 2,5 ГэВ. Дальнейшее увеличение тока в накопителе пока ограничивалось уменьшением времени жизни пучка из-за сильного гажения стенок вакуумной камеры.

На рис. 5 показаны три биметаллических резонатора в кольце накопителя Сибирь-2.

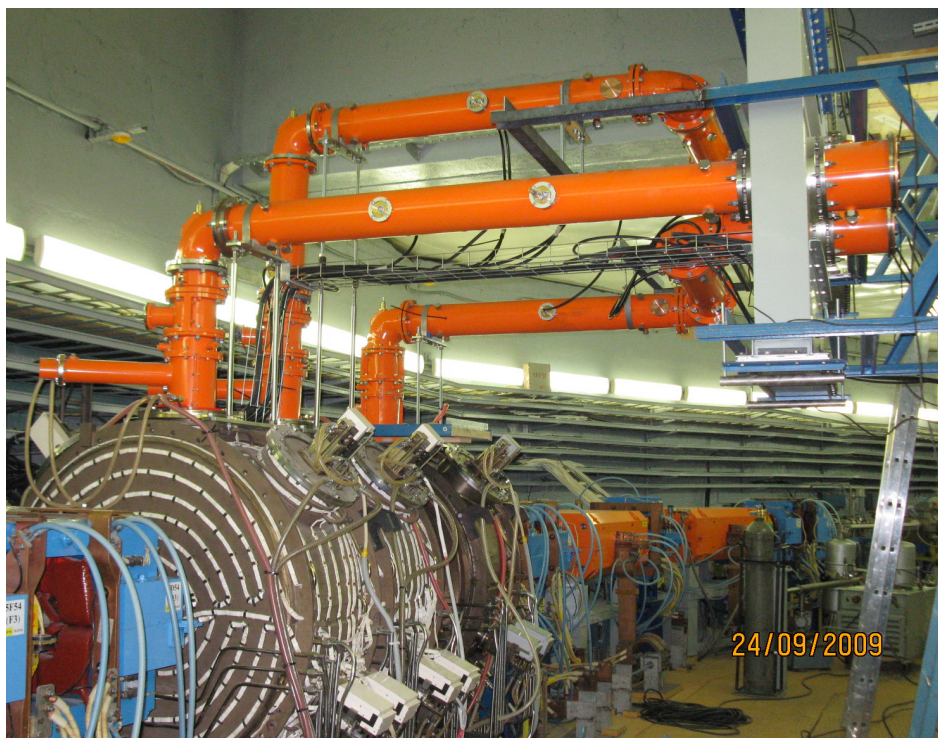


Рис. 5. Три биметаллических в кольце накопителя Сибирь-2.

## 7.5 Источник электронов для экспериментов по электронной дифракции.

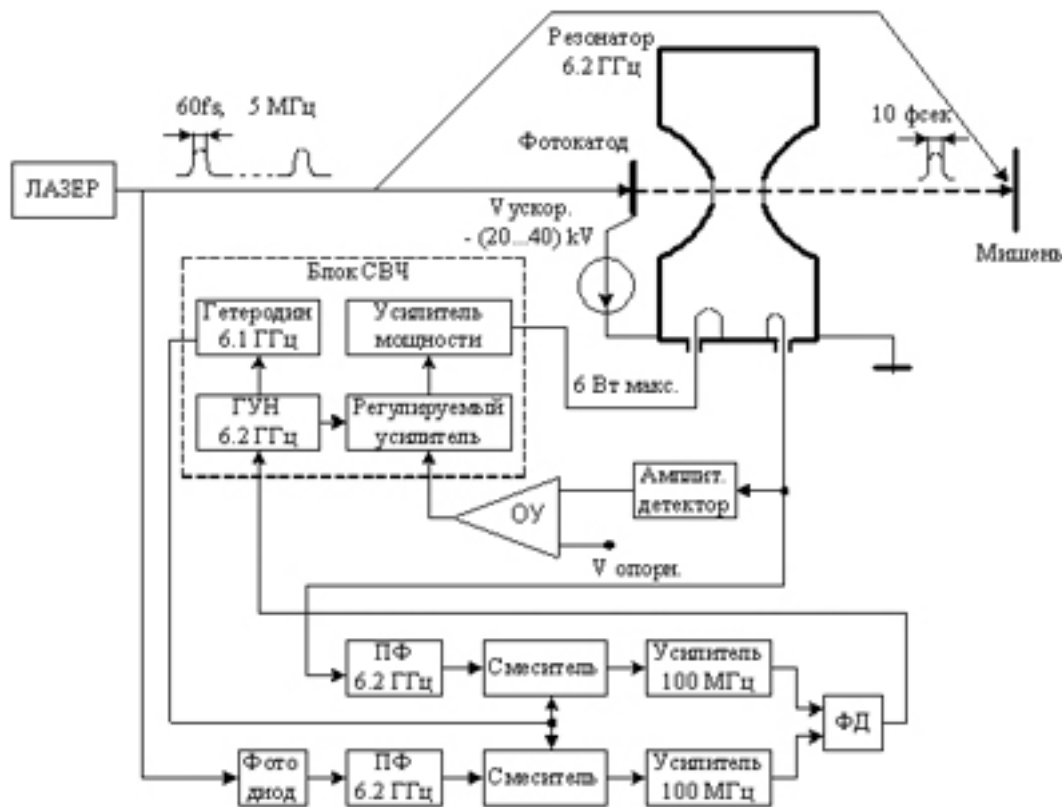
Сверхбыстрая электронная дифракция является мощным методом диагностики в структурной кинетике вещества и сверхбыстрой химии [Dwyer J. R., Hebeisen C. T., Ernstorfer R., Harb M., Deyirmenjian V. B., Jordan R. E. and Dwayne Miller R. J., Phil. Trans. R. Soc. A. 364 (2006) 741-778]. Исследуемое вещество мишени в эксперименте возбуждается импульсом лазера длительностью порядка десятка фемтосекунд и затем на мишень направляется короткий электронный сгусток. Электроны, проходя через вещество, создают дифракционную картину, которая регистрируется. Временное разрешение данного метода определяется длительностью электронных сгустков и стабильностью задержки этих импульсов относительно импульсов лазера.

Институт ядерной физики совместно с Институтом Макса Планка (г. Гархинг, Германия) ведет работу по созданию установки для проведения таких экспериментов [L.Veisz, G.Kurkin, K.Chernov, A.Apollonsky, F.Krausz, E.Fill. Hybrid dc-ac electron gun for fs-electron pulse generation. New Journal of Physics 9(2007) 451.]. Проектное временное разрешение установки - 10 фс.

Источник электронных сгустков имеет фотокатод (рис. 1). Электроны, эмитируемые из фотокатода импульсом лазера, вначале ускоряются постоянным напряжением 20 –

40 кВ. Длительность импульса лазера – 60 фс, однако из-за начального разброса скоростей электронов длительность электронных сгустков после ускорения увеличивается до 700 фс. Затем электронные импульсы пропускаются через группирующий резонатор, работающий на частоте, кратной частоте повторения импульсов лазера. Частота высокочастотного (ВЧ) напряжения резонатора – 6,2 ГГц, а амплитуда на его ускоряющем зазоре выбирается так, чтобы максимальная группировка пучка осуществлялась на расстоянии 100-200 мм от группирующего резонатора.

Для достижения временного разрешения 10 фс требование к стабильности фазы колебаний составляет примерно  $4 \cdot 10^{-4}$  рад. Согласно расчетам максимальная амплитуда напряжения на зазоре резонатора должна составлять 3 кВ. Для получения такого напряжения необходим источник СВЧ мощности с выходной мощностью примерно 4-6 Вт. Требование к стабильности амплитуды колебаний в резонаторе составляет примерно  $\pm 0,25\%$ .



Блок-схема установки.

Комплект электроники установки обеспечивает необходимый уровень возбуждения группирующего резонатора, привязку фазы ВЧ напряжения резонатора к импульсам лазера. В комплект входит блок СВЧ, включающий задающий генератор ГУН 6,2 ГГц, частота которого управляется напряжением, регулируемый полупроводниковый усилитель сигнала 6,2 ГГц и выходной усилитель с максимальной выходной мощностью 6 Вт.

Имеется цепь обратной связи для стабилизации амплитуды напряжения на зазоре резонатора. Сигнал с измерительной петли резонатора поступает на амплитудный детектор. Выходное напряжение детектора сравнивается с опорным постоянным напряжением с помощью операционного усилителя ОУ. Выход ОУ управляет усилением регулируемого усилителя блока СВЧ.

Фазовый детектор ФД цепи фазовой подстройки частоты ГУН работает на частоте 100 МГц. Эта частота получается из входных сигналов 6,2 ГГц с помощью смесителей. Частота сигнала гетеродина, вырабатываемого в СВЧ блоке, сдвинута вниз относительно частоты ГУН на 100 МГц и поддерживается внутренней цепью ФАПЧ в блоке СВЧ.

Блок СВЧ - маломощный источник СВЧ сигналов с выходными частотами 6,2 ГГц и

6,1 ГГц был разработан и изготовлен в Красноярске, в Научном центре СО РАН. Остальное оборудование создано в ИЯФ.

В настоящее время комплект оборудования для формирования электронных сгустков фемтосекундной длительности изготовлен, проведена его предварительная настройка. Оборудование поставлено в Институт Макса Планка (г. Гархинг, Германия). Сейчас в Институте Макса Планка ведутся работы по получению электронных сгустков с проектными параметрами.

Комплект включает в себя следующее основное оборудование: регулируемый источник высокого напряжения (рис. 1), группирующий резонатор (рис. 2), фазовый детектор (рис. 3), блок СВЧ – регулируемый источник СВЧ мощности (рис. 4), блок управления (рис. 5).



Рис. 1. Фотокатод.

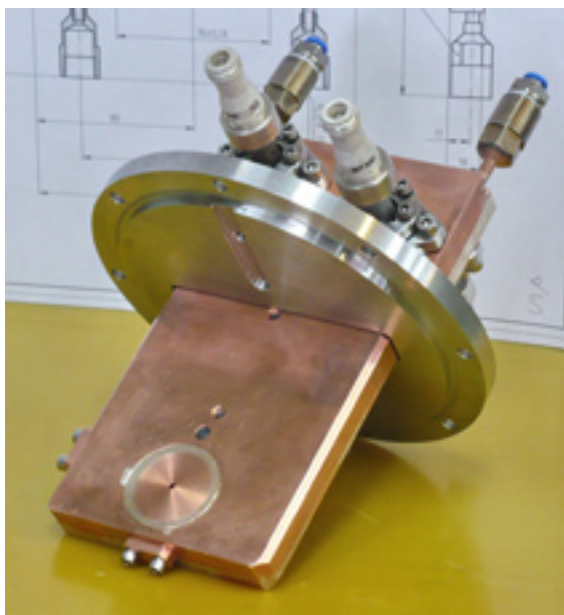


Рис. 2. Группирующий резонатор.



Рис. 3. Фазовый детектор.



Рис. 4. Блок СВЧ.



Рис. 5. Блок управления.

## 7.6 ВЧ система накопителя с энергией 2,2 ГэВ – источника СИ в Зеленограде

По контракту с НИИ ФП г. Москва разработан проект, согласно которому изготовлена и будет запущена ускоряющая ВЧ система для нового накопителя – источника СИ в Зеленограде.

ВЧ система накопителя работает на частоте 181,33 МГц и состоит из двух отдельных биметаллических резонаторов, устанавливаемых в накопителе на расстоянии половины рабочей длины волны от центров друг друга, одного питающего генератора мощностью 300 кВт, тракта передачи мощности и системы управления. Описание отдельных элементов ВЧ системы приведено в Научном отчете института за 2008 год.

В 2009 году в экспериментальном производстве было закончено изготовление двух резонаторов и элементов промежутка, в который они будут установлены. Измерены параметры основной и высших мод резонатора в диапазоне до 1100 МГц.

В ходе стендовых испытаний один резонатор прогрет дважды при температурах 260 °С и 230 °С получен вакуум  $2 \cdot 10^{-10}$  Торр. Во втором резонаторе после двух прогревов при температурах 335 °С и 245 °С не удавалось получить вакуум лучше чем  $8 \cdot 10^{-8}$  Торр. Было установлено, что в одном из патрубков обечайки этого резонатора между внешней нержавеющей и внутренней медью имеется полость, из которой газ натекает в основной объем. После откачки этой полости с помощью отдельного приваренного насоса типа КМН удалось получить вакуум в резонаторе  $8 \cdot 10^{-11}$  Торр.

Каждый резонатор подключался к генератору инжектора ЛСЭ. Проводилась тренировка ВЧ полем, и напряжение на ускоряющем зазоре поднималось до 750 кВ. При работе в накопителе максимальное напряжение на ускоряющем зазоре каждого резонатора 600 кВ.

Изготовлены секции передающего прямоугольного волновода и коаксиальных фидеров, которые подсоединяют волновод к резонаторам. Изготовлены и собраны все части ВЧ генератора. Получены две лампы ТН 781 фирмы THALES (Франция), которые будут установлены в выходном каскаде генератора. Изготовлено и налажено 90% электронных блоков системы управления.

В настоящее время оба резонатора и все коаксиальные фидеры подготовлены к отправке в Зеленоград. Постановка резонаторов в кольцо накопителя, монтаж на месте генератора и тракта передачи мощности, а также настройка и запуск всей ВЧ системы планируется провести в 2010 году.



В работе принимали участие:

В.С.Арбузов, Э.И.Горникер, Е.К.Кенжебулатов, А.А.Кондаков, Н.Л.Кондакова, С.А.Крутихин, Г.Я.Куркин, И.В.Купцов, Л.А.Мироненко, В.Н.Осипов, В.М.Петров, А.М.Пилан, И.К.Седяров, А.Г.Трибендис, В.А.Ушаков.

Конструкторы КБ: О.И.Дейчули, Н.А.Киселева, В.Г.Ческидов.

## 7.7 ВЧ система инжекторов нейтральных пучков токамака COMPASS

В 2009 году между ИЯФ и Институтом Физики Плазмы (ИФП) Чешской Академии наук был заключён контракт на разработку и изготовление двух мощных инжекторов нейтральных пучков для нагрева плазмы в токамаке COMPASS. Одной из основных систем инжектора является ВЧ система.

Основные параметры системы:

Рабочая частота	МГц	$4 \pm 5\%$
Мощность в нагрузке	кВт	30
Длительность импульса/паузы	сек	0,3 / 900
Напряжение анодного питания	кВ	10
Постоянное напряжение на «антенне»	кВ	40

ВЧ система состоит из стойки управления, мощного выходного каскада на тетроде 4CW50000E производства Eimac, анодного выпрямителя, выходного трансформатора развязки и «антенны». Конструктивно система размещена в шкафах стандарта «Евромеханика».

В стойке управления размещены: источник питания экранной сетки тетрода; источник питания управляющей сетки; модулятор, обеспечивающий автоподстройку частоты и стабилизацию амплитуды ВЧ напряжения на нагрузке; система блокировок, защит и управления генератором.

Выходной каскад смонтирован в шкафу 800×800×2000 в виде экранированного ВЧ отсека, разделённого горизонтальной перегородкой. В нижней части отсека находится трансформатор накала и элементы входного контура, а в верхней части устанавливается лампа и элементы анодного контура. Каскад выполнен на тетроде 4CW50000E по схеме с общим катодом. Охлаждение анода лампы водяное, а контактных колец - воздушное. Вентилятор и элементы системы водяного охлаждения находятся в нижней части шкафа, под ВЧ отсеком.

Анодный источник питания смонтирован в шкафу 800×800×2000. В источнике используется две ячейки, аналогичные ячейкам источника ускоряющего напряжения 40 кВ. Выходной трансформатор развязки обеспечивает передачу ВЧ мощности на «антенну», находящуюся под потенциалом 40 кВ. В качестве магнитопровода используется пять колец из аморфного железа 5ВМ 240×140×15. Трансформатор помещён в бак с маслом. Вторичная обмотка трансформатора имеет среднюю точку, что позволяет выполнить симметричное подключение антенны.

В настоящее время вся система спроектирована и сдана в производство. Большая часть электронных блоков изготовлена.

В работе принимали участие:

Кондаков А.А., Кондакова Н.Л., Крутихин С.А., Мотыгин С.В., Осипов В.Н

## 7.8 Высокочастотная пушка для микротрона-рекуператора

В 2009 году началось изготовление ВЧ пушки 90 МГц для микротрона-рекуператора. Пушка в будущем будет установлена взамен работающей сейчас электростатической. Новая пушка позволит увеличить средний ток в микротроне-рекуператоре до 100 мА в высококачественном электронном пучке.

На экспериментальном производстве ИЯФ открыто 5 заказов, два из которых уже завершены. Изготовлены катодный узел и корпус модулятора, остальные заказы (ввод мощности и доработка биметаллического ускоряющего резонатора) должны быть завершены в первом квартале 2010 года.

Напряженность ВЧ электрического поля на внутренних поверхностях резонатора, образующих его ускоряющий зазор, в два раза больше, чем во всех остальных резонаторах, эксплуатируемых в ИЯФ. Для устойчивой работы резонатора при таких напряженностях поля в непрерывном режиме, при обработке этих поверхностей будет использовано алмазное точение и сварка электронным лучом в вакууме. Сейчас разрабатывается оснастка для электронно-лучевой сварки медной бобышки и стенки резонатора, имеющей диаметр 1200 мм и вес 200 кг.

## 7.9 Каскады усиления мощности модульного типа на тетраде ТН781

Для возбуждения ВЧ резонаторов ряда ускорителей, как в ИЯФ, так и для других исследовательских центров, разработаны и изготовлены генераторы непрерывной мощности на частоту 181 МГц. Необходимая выходная мощность генераторов составляет величину от 150 кВт до 600 кВт и достигнута путем сложения мощностей, генерируемых различным количеством (от 1 до 4) ламповых модулей 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 установленных модулей с этими лампами равно 22. Опыт эксплуатации генераторов показал, что при мощности, генерируемой одной лампой, менее 120 кВт, срок службы лампы составляет 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, поскольку работы по производству этих пирографитовых сеток были остановлены, 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 предполагает что на частоте 180 МГц, при выходной мощности до 150 кВт, лампы будут работать не менее 7000 часов.

Чтобы минимизировать затраты на изготовление и установку в ВЧ системы ускорителей, новые генераторы изготовлены на базе корпусов генераторов на ГУ101А с сохранением прежних принципов сложения мощностей, модулей настройки и связи с нагрузкой. Кроме того учитывалось, что приобретение всех ламп займет значительное время. Поэтому раз-

работанная конструкция лампового модуля для ТН781 позволяет установить в один каскад модули с лампами ГУ101А и ТН781 одновременно. В таблице 1 приведены основные параметры лампы ТН781 и, для сравнения, ГУ101А.

Таблица 1.

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 рис. 1 приведен эскиз размещения ТН781 в модуле генератора. Размеры конструкции анодного контура модуля с ТН781 выбраны так, чтобы величина коэффициента трансформации между анодной линией, связывающей модули и анодом тетрода была такой же, как у модулей с ГУ101А. В пределах около 10% это соотношение можно регулировать, изменяя диаметр диска настройки анодного контура.

Испытание одномодульного каскада было успешно проведено. Режим работы каскада, нагруженного на эквивалент нагрузки 50 Ом, приведен в таблице 2.

Таблица 2.

Параметры	Величина	Ед.
Рабочая частота	180,4	МГц
Мощность ВЧ в эквиваленте нагрузки	150	кВт
Напряжение накала	8,5	В
Ток накала	315	А
Анодное напряжение	7,9	кВ
Напряжение экранной сетки	900	В
Напряжение управляющей сетки	- 230	В
Ток анода	29	А
Ток экранной сетки	1,9	А
Ток управляющей сетки	1,5	А
Мощность ВЧ на входе каскада	~12	кВт
КПД каскада	67	%

Кроме того, проведено испытание каскада, нагруженного на ускоряющий резонатор в ВЧ системе инжектора ЛСЭ. Обнаружено, что благодаря малой величине проходных емкостей лампы генератор не самовозбуждается на азимутальных резонансах анодного контура и не требует подключения резисторов, демпфирующих эти резонансы.

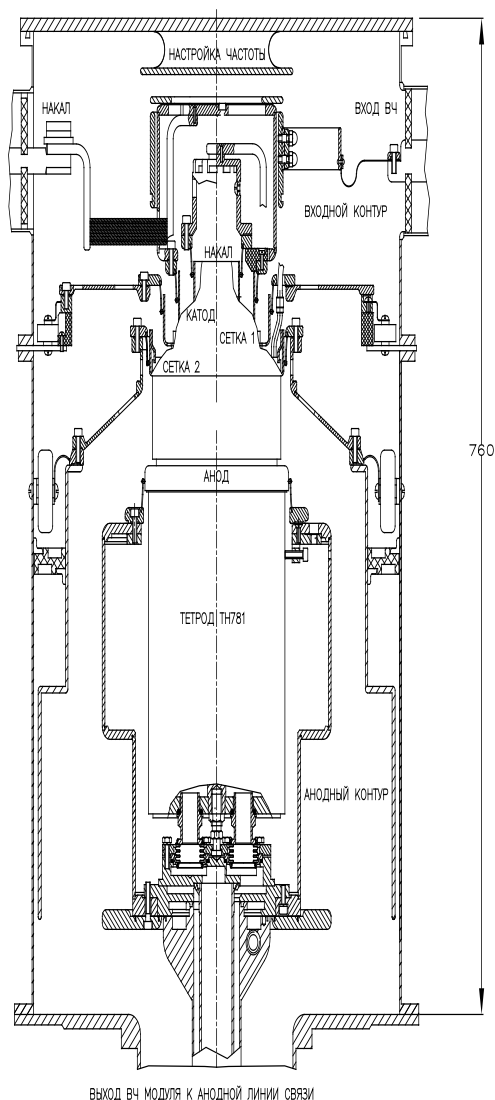


Рис. 1. Расположение тетрода ТН781 в корпусе лампового модуля генератора.

Четырехламповый каскад был собран из одного лампового модуля с ТН781 и трех модулей с ГУ101А. Испытание каскада проводилось в составе ВЧ системы ЛСЭ. Нагрузкой каскада являлись 8 ускоряющих резонаторов микротрона-рекуператора. Режим работы каскада при суммарном напряжении на 8 резонаторах 6000 кВ (мощность в резонаторах 420 кВт) приведен в таблице 3. В этом режиме расчет мощности, рассеиваемой на анодах ламп, проводился по измеренной величине разности температур воды на выходе и входе баков охлаждения анодов ламп.

С учетом потерь мощности в тракте ВЧ около 1%, то есть около 4 кВт, получим мощность в резонаторах, рассчитанную по критериям генератора – 389 кВт, что является достаточно хорошим совпадением с величиной 420 кВт, рассчитанной по калибровкам резонаторов.

Из таблицы видно, что разница величин мощностей, генерируемых модулем с ТН781 и модулем с ГУ101А, не превышает 10%. Эта величина может быть уменьшена более тщательной настройкой каскада. Однако, эта работа не проведена, так как предполагается дальнейшая замена ламп и окончательная настройка будет выполнена после установки 4-х ламп.

Таблица 3.

Параметры	1-ГУ101А	2-ГУ101А	3-ГУ101А	4-ТН781	Ед.
Рабочая частота	180,4				МГц
Мощность ВЧ в резонаторах (по калибровкам резонаторов)	420				кВт
Напряжение накала	12	12	12	8,5	В
Ток накала	580	580	580	315	В
Анодное напряжение	9				кВ
Напряжение экранной сетки	960				В
Напряжение управляющей сетки	- 200	- 200	- 200	- 180	В
Ток анода	25,5	24,7	25	20,7	А
Ток экранной сетки	0,12	0,12	0,3	0,35	А
Ток управляющей сетки	0,3	0,26	0,1	0,56	А
Мощность, потребляемая лампой от всех источников питания	236	230	232	189	кВт
Мощность рассеиваемая на аноде	149	137	136	104	кВт
Мощность ВЧ, генерируемая лампой	87	93	96	85	кВт
Мощность ВЧ на входе модуля	~8	~8	~8	~8	кВт
Мощность ВЧ на выходе модуля	95	101	104	93	кВт
Суммарная мощность на выходе генератора	393				кВт

Для проверки возможностей генератора выполнялся подъем уровня мощности до величины 566 кВт (по калибровкам резонатора), соответствующий напряжению на резонаторах 7000 кВ. Полученный режим работы – в таблице 4.

Таблица 4.

Параметры	1-ГУ101А	2-ГУ101А	3-ГУ101А	4-ТН781	Ед.
Мощность ВЧ в резонаторах (по калибровкам резонаторов)	566				кВт
Ток анода	32,4	31,2	31,1	27,9	А
Ток экранной сетки	0,4	0,2	0,4	0,7	А
Ток управляющей сетки	0,5	0,5	0,4	0,9	А
Мощность, потребляемая лампой от всех источников питания	298	288	287	254	кВт
Мощность рассеиваемая на аноде	-	-	-	124	кВт
Мощность ВЧ на выходе модуля	~145	~145	~145	130	кВт

В настоящее время генератор с одной лампой ТН781 постоянно работает на установке ЛСЭ с мощностью на уровне 530 кВт (6800 кВ на 8 резонаторах).

В работе участвовали: В.С.Арбузов, Э.И.Горникер, Е.В.Козырев, А.А.Кондаков, А.М.Пилан, а также сотрудник НКО В.Г. Ческидов.

## 7.10 Высокочастотный генератор 200 кВт для линейного ускорителя.

Летом 2008 года между ИЯФ и Федеральным государственным унитарным предприятием «Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»)» был заключён договор на изготовление высокочастотного генератора с непрерывной мощностью 180 кВт на ча-

стоте 100 МГц. ВЧ генератор будет использоваться для возбуждения линейного ускорителя электронов, сооружаемого заказчиком.

По договору ИЯФ должен спроектировать и изготовить генератор, систему питания генератора и радиоэлектронные блоки управления ВЧ мощностью. Генератор включает в себя два высокочастотных каскада на тетрадах отечественного производства ГУ-92А и ГУ101А, предварительный усилитель 500 Вт на транзисторах, межкаскадный коаксиальный фидер, коллекторы охлаждения генератора - водяной и воздушный, для внешнего подключения. Система питания состоит из высоковольтного 14 кВ источника анодного питания со схемой быстрой защиты, предотвращающей разрушение ламп при пробоях, низковольтных источников питания и схемы управления и защиты генератора. Источник питается от трехфазной сети переменного тока 380 В/50 Гц. Мощность, потребляемая источником – 420 кВт.

В институте было принято решение об изготовлении двух комплектов оборудования. Собран стенд, на котором первый генератор будет испытан на нагрузку 50 Ом и отправлен в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» по договору. На его месте будет собран второй аналогичный генератор, частота которого будет перестроена на 90 МГц для проведения наладки и испытания ВЧ пушки для инжектора ЛСЭ. Необходимая мощность генератора 60 кВт.

В 2009 году закончено конструирование высокочастотных каскадов генератора, коллекторов водяного и воздушного охлаждения и элементов источников питания. К концу 2009 г. в экспериментальном производстве ИЯФ изготовлено большинство деталей генератора и источников питания. В январе 2010 г. начата сборка каскадов генератора, завершается электромонтаж высоковольтного источника питания.

В работе принимали участие: В.С.Арбузов, Ю.А.Бирючевский, Э.И.Горникер, В.Л.Головин, А.В.Головин, А.А.Кондаков, Н.Л.Кондакова, С.А.Крутихин, Г.Я.Куркин, С.В.Мотыгин, В.Н.Осипов, В.М. Петров, В.В.Аксёнов, В.А.Савченко.

## 7.11 Ускоряющие структуры CCDTL для Linac4, CERN.

В 2009 г. начались работы по изготовлению ускоряющих структур для линейного ускорителя Linac4 - нового инжектора ЛНС, CERN. ИЯФ СО РАН совместно с РФЯЦ-ВНИИТФ (Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский институт технической физики, г. Снежинск) в течение 2,5 лет должен изготовить 7 ускоряющих модулей CCDTL (Coupled Cavity DTL, линейный ускоритель с трубками дрейфа и ячейками связи) для ускорения ионов Н<sup>+</sup> в диапазоне энергий 50-100 МэВ. Каждый модуль CCDTL состоит из трёх ускоряющих резонаторов (с 2-мя пролетными трубками в каждом резонаторе) и двух ячеек связи между ними. Каждый модуль подключен к своему вч-усилителю (клизотрону). Рабочая частота – 352 МГц. Общая длина секции CCDTL составляет около 25 м.

Проведено компьютерное моделирование резонаторов CCDTL, разработана конструкция элементов ускоряющих структур, выпущены рабочие чертежи, проведена технологическая проработка, изготовлена технологическая оснастка. Для проверки конструкторских и технологических решений в производстве ИЯФ изготавливаются два полноразмерных опытных образца трубок дрейфа.

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., НКО - Крючков Я.Г., Бирючевский Ю.А.



**8**

**Мощные  
электронные  
ускорители**





## 8.1 Радиационные технологии и ускорители электронов серии ЭЛВ

Институт продолжает поставки, модернизацию и шеф-монтаж промышленных ускорителей серии ЭЛВ. Заметных хлопот требует и сертификация ускорителей. В 2009 году было получено очередное санитарно-эпидемиологическое заключение РОСПОТРЕБНАДЗОРА на ускоритель ЭЛВ-4. О важности этого документа говорит тот факт, что благодаря бюрократической вертикали РОСПОТРЕБНАДЗОРА в одной из поставок гарантийный срок начался не с момента запуска ускорителя, а с момента предъявления данного документа.

В 2009 году был поставлен в Южную Корею, запущен в эксплуатацию и прошел тестовые испытания передвижной ускоритель с параметрами: энергия ускоренных электронов - 0,65 МэВ, мощность пучка - 20 кВт. Ускоритель сконструирован и изготовлен совместно с нашим давним коллаборатором – фирмой EB-TECH.Co. **В трейлере смонтированы непосредственно ускоритель в радиационной защите, силовой шкаф с преобразователем частоты, чиллер для охлаждения ускорителя, система обдува фольги выпускного окна.** Здесь же установлено устройство каталитического разложения озона. Питание ускорителя может осуществляться как от внешней электросети, так и от автономного дизель-генератора. Дизель-генератор тоже установлен внутри трейлера. Во втором, легком, вагончике, расположены газовая система, система управления, рабочее место оператора. На рисунке 1 показан трейлер в процессе транспортировки. Заметим, что сам тягач в комплект ускорителя не входит. В первую очередь это обусловлено тем, что Корея небольшая страна и имеется много специализированных транспортных фирм.



Рис. 1. Трейлер с мобильным ускорителем готовится к транспортировке.

Высоковольтный выпрямитель и ускорительная трубка этой машины переконструированы таким образом, что могут выдерживать вертикальные и горизонтальные ускорения величиной 0,5 g. Одним из первых испытаний был тест по корейским дорогам. За 4 часа ускоритель проехал 150 км. Несмотря на хорошее качество дорог, было обнаружено, что максимальные ускорения лежат в пределах 0,5–1,0 g. Этот тест был успешно завершён.

В процессе испытаний были выявлены как плюсы, так и минусы новой конструкции. Наличие каталитической системы разложения озона является большим плюсом: концентрация озона в выхлопе, который проходит через систему каталитического разложения, ниже

ПДК, а наличие разного рода негерметичностей камеры облучения приводят к выдуванию воздуха с высокой концентрацией озона из камеры и появлению запаха вокруг трейлера. Малый размер камеры облучения оптимален с точки зрения уменьшения весо-габаритных характеристик устройства, но он же приводит к излишнему нагреву ее стенок, элементов выпускного устройства, электромагнитов сканирования, вакуумных насосов. На рисунке 2 показан рабочий момент монтажа ускорителя.



Рис. 2. Сборка вакуумной системы мобильного ускорителя.

Сказать, насколько востребованными окажутся такие ускорители, сейчас трудно. Но интерес к таким установкам, как демонстрационным имеется. Сейчас готовится такая же поставка теми же исполнителями в США.

Проводятся работы и по совершенствованию и модернизации стандартных ускорителей ЭЛВ. Так, до 2009 года максимальная мощность электронного пучка ускорителей серии ЭЛВ 100 кВт достигалась на ускорителе ЭЛВ-6 (двойным количеством секций) с энергией до 1,2 МэВ и на ускорителе ЭЛВ-8 в диапазоне энергий 2-2,5 МэВ. Стандартный ускоритель ЭЛВ-4 в диапазоне 1-1,5 МэВ имел мощность 50 кВт. Благодаря модернизации высоковольтного выпрямителя и системы электропитания ускорителя ЭЛВ-4 в тех же габаритах мощность пучка была увеличена до 100 кВт. Первые две машины ЭЛВ-4, имеющие параметры 1 МэВ\*100 мА, поставлены в Турцию и Корею. На рис. 3 показан ускоритель ЭЛВ на производстве «DURFOAM» в Турции.

В Санкт-Петербург (компания «Радиант») поставлен и смонтирован высоковольтный источник на базе выпрямителя ЭЛВ со следующими параметрами: выпрямленное напряжение – 150...250 кВ с током 200 мА, то есть максимальная мощность высоковольтного источника – 50 кВт. Для нас это первый опыт ухода в область низких энергий больших токов. В дальнейшем предполагается использовать этот высоковольтный источник для питания низковольтного ускорителя электронов с выводом пучка в атмосферу.

В течение года продолжалась работа на инжекторе бустера углеродного ускорителя для терапии рака.



Рис. 3. Ускоритель ЭЛВ-4 в турецкой компании.

Отработана структура высоковольтного источника, проверена электрическая прочность ускорительной трубки, перезарядная мишень переконструирована и приспособлена для работы в атмосфере  $SF_6$  под давлением. Ускорен несепарированный пучок отрицательных ионов углерода, приведена в порядок ионно-оптическая система и измерена эффективность перезарядки. К концу года изготовлен и установлен  $90^\circ$  сепарирующий магнит, то есть прототип установки полностью комплектен.



Рис. 4. Общий вид инжектора бустера углеродного ускорителя.

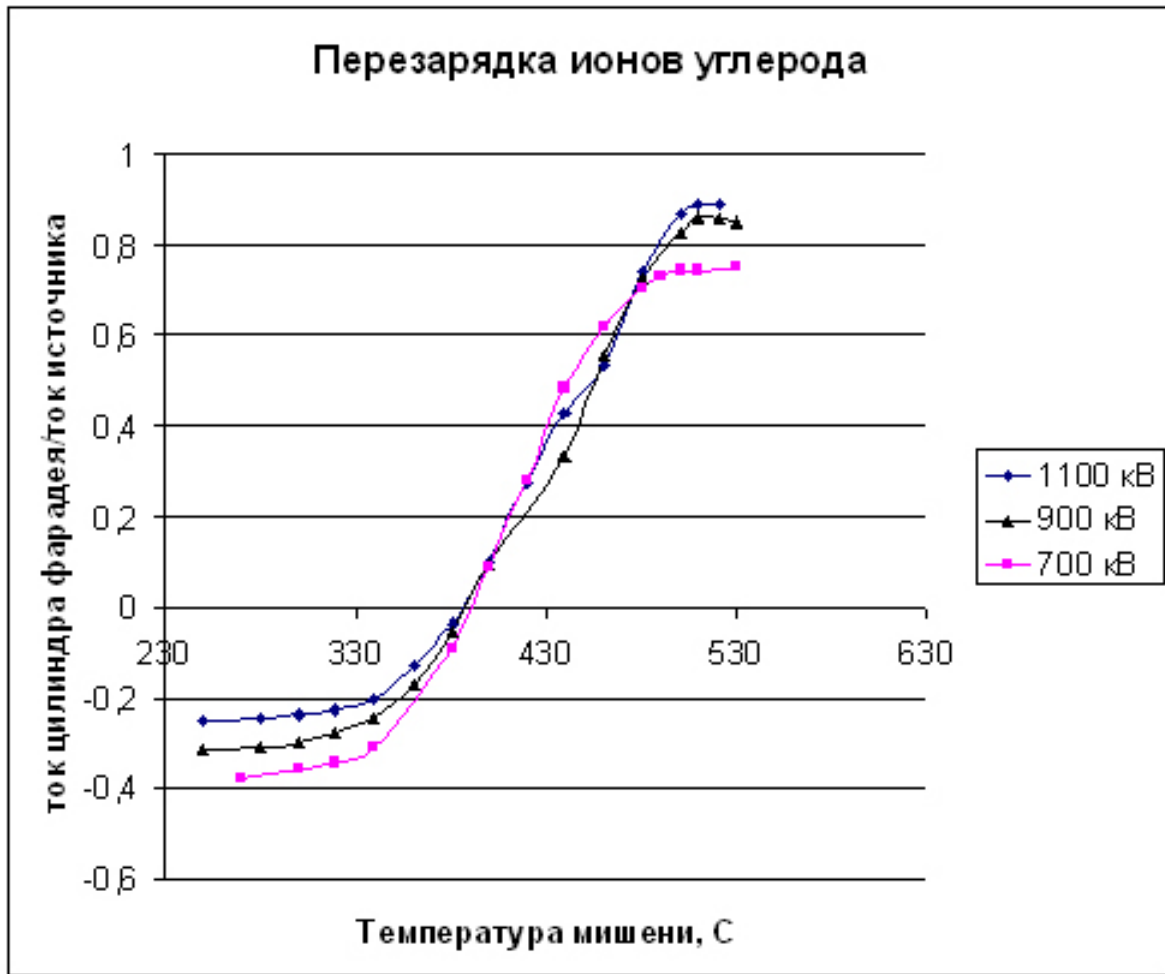


Рис. 5. Коэффициент перезарядки ионов углерода на разных энергиях в зависимости от температуры мишени.

Продолжались эксперименты на стенде лаборатории, оборудованном ускорителем ЭЛВ-6, генерирующим сфокусированный электронный пучок.

В рамках договорных и контрактных работ получены и исследованы нанопорошки W, оксида  $W_2O_5$  и карбида WC, а также нанопорошка оксида иттрия ( $Y_2O_3$ ).

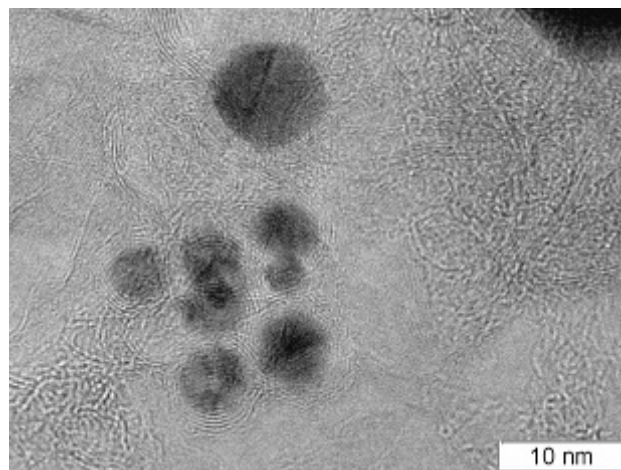


Рис. 6. Наноразмерные частицы вольфрама, просвечивающая электронная микроскопия.

Продолжались наработки небольших партий различных ранее полученных нанопорошков (Cu, TiO<sub>2</sub>, Ag, Si) для уточнения их характеристик.

После модернизации подпучкового оборудования удалось получить в инертной среде сверхчистые нанопорошки висмута и оксида висмута (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) со степенью чистоты не ниже 99,999% для Новосибирского завода редких металлов и Новосибирского хим. фарм. завода.

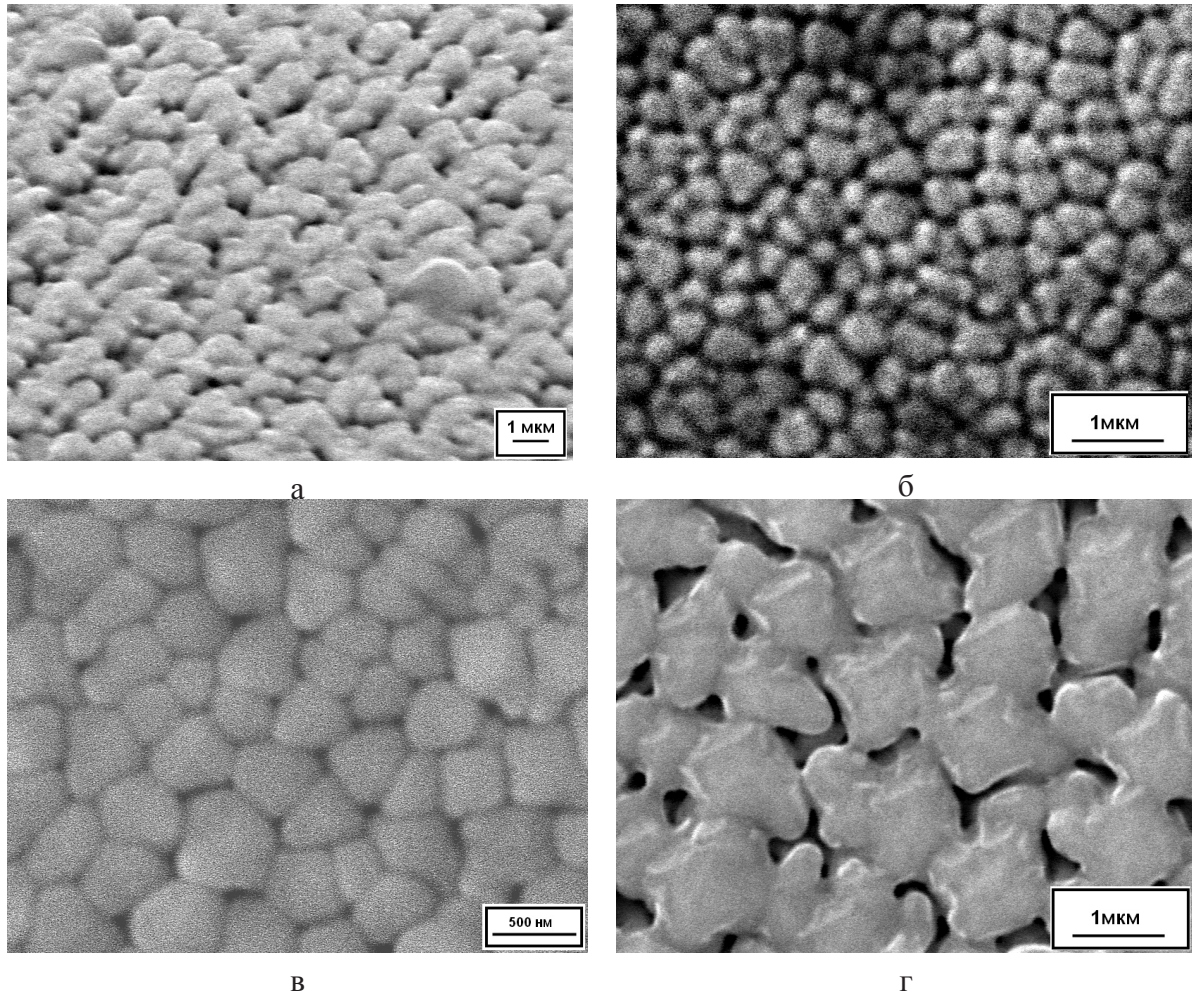


Рис. 7. Структура поверхности наплавленного слоя (а – вид сбоку, б, в, г – вид сверху): а, в, г – наплавка карбидом вольфрама, б – наплавка карбидом хрома

Ведутся эксперименты по наплавке различных порошковых материалов на основу из титана, меди, алюминия, стали с целью получения сверхтвердых и износостойких покрытий. Эти работы ведутся в кооперации с Институтом физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск), в рамках сотрудничества с НГТУ и специалистами из Университета Науки и Технологии (г. Поханг, Южная Корея).

Совместно с ИНХ СО РАН разработан контрастирующий препарат для магниторезонансной томографии, представляющий собой суспензию функционализированных частиц ферромагнитной шпинели. Исследована его токсичность и доказана высокая информативность нового ЯМР-исследования лимфоузлов, сравнимая с информативностью современной рентгенографии, при которой в качестве контрастного вещества используется коллоид золота.

## 8.2 Ускорители электронов типа ИЛУ и их применение.

### 8.2.1 Поставки ускорителей

Начиная с 1983 года ускорители типа ИЛУ поставляются за границу, где они используются для исследовательских работ и для работы в составе промышленных технологических линий. Некоторые из этих машин загружены работой 2-3 смены в сутки на протяжении многих лет и успешно выдерживают подобную нагрузку. Надежность работы ускорителей и их технический уровень подтверждаются новыми поставками оборудования.

По контракту с фирмой «RadPol», г. Члухов, Польша, был модернизирован ускоритель ИЛУ-6, работавший в этой фирме с 1983 года. Максимальная энергия ускорителя до модернизации была 1,7 МэВ, после модернизации максимальное значение энергии составляет 2,5 МэВ при токе пучка до 8 мА. В марте 2010 года ускоритель будет запущен в работу в составе комплекса по облучению пластиковых изделий.

По контракту с заводом «Чувашкабель», г. Чебоксары, в 2008 году изготовлен, собран и запущен в работу в ИЯФе ускоритель ИЛУ-8. В 2009 году этот ускоритель был разобран, упакован, отправлен заказчику. Местная биологическая защита для этой установки была изготовлена и отправлена заказчику. В конце 2009 года на заводе был произведен монтаж местной защиты для ускорителя, а затем монтаж и наладка установки для облучения проводов.

По договору с Сибирским центром фармакологии и биотехнологии (СЦФБ) изготовлен и сдан ускоритель ИЛУ-10 с энергией 5 МэВ и током пучка до 10 мА.

### 8.2.2 Разработка модульного промышленного линейного ускорителя электронов ИЛУ-14

Линейный ускоритель электронов ИЛУ-14 является новой машиной в линейке ИЛУ. Это мощная (до 100 кВт) многоззорная многорезонаторная машина для диапазона энергии 7,5-10 МэВ, разработанная на основе ускорителя ИЛУ-12. Рабочие параметры ускорителя приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Параметры ускорителя ИЛУ-14.

Энергия электронов, МэВ	7,5–10
Средняя мощность пучка, кВт	100
Рабочая частота, МГц	176
Энергетический разброс (r.m.s.), %	3,5
КПД ускоряющей структуры, %	72
КПД "от розетки", %	~30
Габариты ускорителя, м	8×2×2

Блок-схема ускорителя ИЛУ-14 приведена на рисунке 1. Основными элементами являются: бипериодическая ускоряющая структура с резонаторами связи на оси, состоящая из семи ускоряющих ячеек; автогенератор, состоящий из пяти каскадов на триодах ГИ-50А; четыре ввода мощности; триодная ВЧ-пушка с возможностью подачи дополнительного ВЧ напряжения на зазор сетка-катод; и два модулятора. Ускоритель запущен в производство.

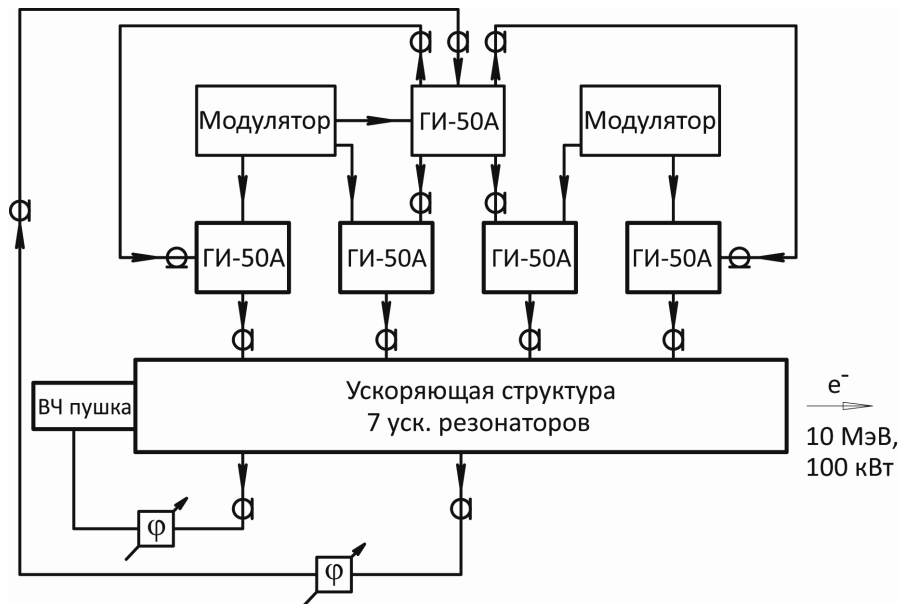


Рис. 1. Блок-схема ускорителя ИЛУ-14 на энергию 10 МэВ и мощность 100 кВт.

Разработан и реализуется проект комплекса для стерилизации медицинских изделий и деконтаминации опасных больничных отходов на основе ускорителя ИЛУ-14.

### 8.2.3 Разработка новых технологий

Проводились работы по радиационно-термическому синтезу сложных оксидных соединений. Часть из этих работ проводилась в рамках Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №82 «Кислородная проницаемость массивных и нанесённых мембран на основе перовскитов со смешанной проводимостью».

Поисковые работы по радиационной обработке нефтепродуктов проводились 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».

Продолжались хозяйственные работы по стерилизации различных медицинских изделий. Работы проводились на действующих ускорителях ИЛУ-6 и ИЛУ-10.

В работах принимали участие: А.А. Брызгин, В.В. Безуглов, В.А. Горбунов, И.В. Горнаков, 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 Установка «Тандем-БНЗТ»

В течение 2009 года выполнены следующие работы:

- Проведён ряд подготовительных работ, необходимых для увеличения тока протонного пучка на нейтронообразующей мишени.
- Собран профилометр мощного пучка с подвижной мишенью, измерена стабильность профиля пучка во времени, стабильность полного тока, исследованы возможности управления положением центра тяжести пучка.
- Введена в эксплуатацию развёртка протонного пучка и проведено её тестирование на имитаторе литиевой мишени.
- За счет оптимизации работы программного обеспечения достигнута синхронизация работы поворотного магнита и источника высокого напряжения ускорителя-тандема, что позволило проводить эксперименты с оперативным изменением энергии пучка.
- Начаты эксперименты по генерации нейтронов в стабильном режиме при токе протонного пучка до 0,7 мА, при этом измеренный поток нейтронов составил  $2 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ , а пробои следовали с интервалом около 4 минут. При токе 2,8 мА интервал между пробоями сокращается до 1 минуты. По результатам работы планируются эксперименты по облучению клеточных препаратов и мышей.



Рис. 1. Фотография установки «Тандем-БНЗТ».

Результаты получены в рамках реализации проекта:

Научный проект 2.6.5.7 «Источник нейтронов для нейтронной терапии рака на основе электростатического ускорителя – тандема». Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук Иванов А.А.

## 9.2 Детекторы рентгеновского излучения для медицины и досмотра людей.

### 9.2.1 Медицинская рентгенография

В 2009 году предложен и разработан новый перспективный вариант установки МАРК (Малодозовый Аппарат Рентгенографический Комбинированный). Аппарат представляет собой универсальный рентгенодиагностический комплекс с функцией микродозового би-



контрастного полипозиционного обследования желудка в скрининге рака. Проект разработан и предложен по рекомендации Центра новых медицинских технологий ИХБФМ СО РАН. Предлагаемый аппарат способен реализовать все типы рентгенографических обследований, включая профилактические. Для скрининга используется линейный детектор – ионизационная камера на 2560 каналов с разрешением 250 мкм; а для получения диагностических снимков – flat panel с разрешением 143x143 мкм. Линейный детектор длиной 660 мм произведен и испытан. По своей многофункциональности и уникальной возможности выполнения микродозового скрининга рака желудка разрабатываемый аппарат не имеет мировых аналогов.

Институтом произведено и поставлено ЗАО «Научприбор» (город Орел) 9 экземпляров 1536-канальных детекторов для использования их при производстве цифровых сканирующих флюорографов ФМЦ-НП-О.

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

В 2009 году продолжалась опытная эксплуатация новой модели установки в а/п «Толмачево» г. Новосибирска. Была достигнута устойчивая безотказная работа СРК при ежедневном досмотре ~ 1000 человек. Разработано и поставлено новое программное обеспечение. Разработана и опробована новая электроника управления СРК, более простая, компактная и надежная.

На ЗАО «Научприбор» (город Орел) запущена в производство серия (5 шт.) установок СРК новой модификации, успешно зарекомендовавшей себя во время эксплуатации в а/п «Толмачево».



## Библиография

### Список публикаций

- [1] *Анчугов О.В., Блинов В.Е., Богомяков А.В., Журавлев А.Н., Карнаев С.Е., Карпов Г.В., Киселев В.А., Куркин Г.Я., Левичев Е.Б., Мешков О.И., Мишнев С.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., Шамов А.Г., Шатилов Д.Н., Шведов Д.А., Шубин Е.И.* Эксперименты по физике пучков заряженных частиц на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М. // ЖЭТФ, 2009, т.136, №4, с.690-702.
- [2] *Смалюк В.В.* Диагностика пучков заряженных частиц в ускорителях. // Новосибирск: НГУ, Параллель, 2009, 294 с.
- [3] *Smaluk V.* Particle beam diagnostics for accelerators. // Instruments and Methods. - Saarbrucken: VDM Publishing, 2009, 276 p.
- [4] *Левичев Е.Б.* Лекции по нелинейной динамике частиц в циклическом ускорителе. // Учебник. - Новосибирск: издательство НГТУ, 2009, 224 с.
- [5] *Glukhov S., Kiselev V., Levichev E., Meshkov O., Nikitin S., Nikolaev I., Piminov P., Zhuravlev A.* Study of beam dynamics during the crossing of resonance in the VEPP-4M Storage Ring. // ICFA Beam Dynamics Newsletter, 2009, №48, p.171-181.
- [6] *Blinov V.E., Bogomyagkov A.V., Cherepanov V.P., Kiselev V.A., Levichev E.B., Medvedko A.S., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Shamov A.G., Shubin E.I.* Beam energy measurements at VEPP-4M collider by resonant depolarization technique. // ICFA Beam Dynamics Newsletter, 2009, №48, p.181-190.
- [7] *Kurkin G.Ya., Osipov V.N., Petrov V.M., Rotov E.A., Krutikhin S.A., Motygin S.V., Karnaeв S.E., Smaluk V.V.* Commissioning of the VEPP-4M longitudinal feedback system. // ICFA Beam Dynamics Newsletter, 2009, №48, p.191-195.
- [8] *Blinov V.E., Kaminsky V.V., Levichev E.B., Muchnoi N.Yu., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Shamov A.G., Tikhonov Yu.A., Zhilich V.N.* Beam energy and energy spread measurement by compton backscattering of laser radiation at the VEPP-4M collider. // ICFA Beam Dynamics Newsletter, 2009, №48, p.195-207.
- [9] *Blinov V., Bogomyagkov A., Karpov G., Kiselev V., Levichev E., Nikitin S., Nikolaev I., Shubin E., Tumaikin G.* Study of the possibility of increasing the accuracy of CPT invariance test at electron-positron storage rings. // ICFA Beam Dynamics Newsletter, 2009, № 48, p.207-217.
- [10] *Gurko V.F., Zhuravlev, A.N., Zubarev P.V., Kiselev V.A., Meshkov O.I., Muchnoi N.Yu., Selivanov A.N., Smaluk V.V., Khilchenko A.D.* Study of electron beam profile with multi-anode photomultiplier. // ICFA Beam Dynamics Newsletter, 2009, №48, p.218-226.
- [11] *Blinov A., Bogomyagkov A., Bondar A., Kiselev V., Koop I., Kurkin G., Levichev E., Logachev P., Nikitin S., Okunev I., Petrov V.M., Piminov P., Pupkov Yu., Shatilov D., Sinyatkin S., Smaluk V., Skrinsky A., Vobly P.* The project of Tau-charm factory with crab waist in Novosibirsk. // ICFA Beam Dynamics Newsletter, 2009, №48, p.268-278.
- [12] *Боронина М.А., Вишневков В.А., Левичев Е.Б., Никитин С.А., Симонов Е.А., Снытников В.Н.* 3D-код для моделирования ультрарелятивистских пучков. // Вычислительные технологии, 2009, т.14, №5, с.18-30, 2009.

- [13] Смалюк В.В. Механизмы подавления неустойчивости поперечных связанных мод в циклическом ускорителе. // ЖЭТФ, 2009, т.135, №3, с.550-558.
- [14] Матвеев Ю.Г., Шведов Д.А. Коаксиальные линии с ферритовым заполнением для обострения фронтов импульсов высоковольтных наносекундных генераторов. // ПТЭ, 2009, №6, с.39-44.
- [15] 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., Bondarev D.V., Buzykaev A.R., Eidelman S.I., Glukhovcheno Yu.M., Gulevich V.V., Karnaev S.E., Karpov G.V., Karpov S.V., Kiselev V.A., Kononov S.A., Kozlova T.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kulikov V.F., Kuper E.A., Kurkin G.Ya., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Medvedko A.S., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Morozov I.I., Muchnoi N.Yu., Neufeld V.V., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Orlov I.O., Osipov A.A., Peleganchuk S.V., Petrosyan S.S., Pivovarov S.G., Piminov P.A., Petrov V.V., Poluektov A.O., Popkov I.N., Pospelov G.E., Prisekin V.G., Ruban A.A., Sandyrev V.K., Savinov G.A., Shamov A.G., Shatilov D.N., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skovpen Yu.I., Skrinsky A.N., Smaluk V.V., 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. Tau mass measurement at KEDR. // Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 2009, v.189, p.21-23.
- [16] Alesini D., Biagini M.E., Biscari C., Boni R., Boscolo M., Bossi F., Buonomo B., Clozza A., Monache G.Delle, 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., Quintieri L., Raimondi P., Ricci R., Rotundo U., Sanelli C., Serio M., Sgamma F., Spataro B., Stecchi A., Stella A., Tomassini S., Vaccarezza C., Zobov M. (LNF INFN, Frascati, Italy); Koop I., Levichev E., Piminov P., Shatilov D., Smaluk V. (BINP, Novosibirsk, Russia); Bettoni S. (CERN, Geneva, Switzerland); Schioppa M. (INFN-Cosenza, Cosenza, Italy); Valente P. (INFN-Roma1, Roma, Italy); Ohmi K. (KEK, Ibaraki, Japan); Arnaud N., Breton D., Burmistrov L., Stocchi A., Variola A., Viaud B.F. (LAL, Orsay, France); Esposito M. (University La Sapienza, Roma, Italy); Paoloni E. (University of Pisa and INFN, Pisa, Italy); Branchini P. (INFN-Roma3, Rome, Italy); Teytelman D. (SLAC, Menlo Park, USA). // Crab waist collision at DAFNE. // ICFA Beam Dyn. Newslett, 2009, v.48, p.23-33.
- [17] Zobov M., Milardi C., Raimondi P., Levichev E., Piminov P., Shatilov D., Ohmi K. Beam dynamics in crab waist collisions at DAFNE. // ICFA Beam Dynamics Newsletter, 2009, №48, p.34-44.
- [18] Alesini A., Biagini M.E., Boni R., Boscolo M., Demma T., Drago A., Guiducci S., Mazzitelli G., Raimondi P., Serio M., Stella A., Tomassini S., Zobov M. (INFN Laboratori Nazionali Frascati, Italy); Bertsche K., Donald M., Nosochoy Y., Novokhatski A., Pivi M., Seeman J., Sullivan M., Yocky G., Wienands U., Wittmer W. (SLAC, USA); Bettoni S., Quattraro D. (CERN, Switzerland); Paoloni E., Marchiori G. (Pisa University, Italy); Bogomyagkov A., Koop I., Levichev E., Nikitin S., Piminov P., Shatilov D. (BINP, Russia); Bassi G., Wolski A. (Daresbury, UK); Variola A. (LAL, Orsay, France). The SuperB accelerator project. // ICFA Beam Dyn. Newsletter, 2009, v.48, p.243-252.
- [19] Николенко Д.М., Барков Л.М., Дмитриев В.Ф., Зеваков С.А., Лазаренко Б.А., Мишнев С.И., Осипов А.В., Рачек И.А., Садыков Р.Ш., Стибунов В.Н., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В. Измерение компонент тензорной анализирующей способности реакции когерентного фоторождения  $\pi^0$ -мезона на дейтроне. // Письма в ЖЭТФ, 2009, v.89, №9, p.518-523.

- [20] Гаузитейн В.В., Зеваков С.А., Лазаренко Б.А., 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. О регистрации электромагнитного образования пи-минус мезонов на тензорно поляризованных дейтронах. // Известия вузов. - Физика, 2009, т.52, с.5-9.
- [21] Барков Л.М., Дмитриев В.Ф., Зеваков С.А., Лазаренко Б.А., 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. Исследование реакции  $d(\gamma, pp) p_i$  на внутренней тензорно поляризованной мишени электронного накопителя ВЭПП-3. // Известия вузов, Физика, 2009, т.52, с.14-21.
- [22] Stibunov V.N., Barkov L.M., Dmitriev V.F., Loginov A.Yu., Mishnev S.I., Nikolenko D.M., Osipov A.V., Racheck I.A., Sadykov R.Sh., Shestakov Yu.V., Sidorov A.A., Toporkov D.K., Zevakov S.A. The tensor analysing power component  $T_{21}$  of exclusive  $\pi$ -meson photoproduction on deuteron in the resonance region. // AIP Conference Proc. - 1149 (2009) 699-702.
- [23] Hedlund E., Westerberg L., Malyshev O.B., Edqvist E., Leandersson M., Kollmus H., Bellachioma M.C., Bender M., Krämer A., Reich-Sprenger H., Zajec B., Krasnov A. Ar ion induced desorption yields at the energies 5-17.7 MeV/u. // NIMA: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2009, v.599, №1, p.1-8.
- [24] Hedlund E., Malyshev O.B., Westerberg L., Krasnov A., Semenov A.M., Leandersson M., Zajec B., Kollmus H., Bellachioma M.C., Bender M., Krämer A. and Reich-Sprenger: H. Heavy-ion induced desorption of a TiZrV coated vacuum chamber bombarded with 5 MeV/u Ar<sup>8+</sup> beam at grazing incidence. // J. Vac. Sci. Technol. A, Jan./Feb. 2009, v.27(1), p.139-144.
- [25] Анашин В.В., Краснов А.А., Семенов А.М. Напыление геттерных покрытий в малоапертурных камерах. // Вакуумная наука и техника: (мат. конф.), 2009, p.70-74.
- [26] Анашин В.В., Жуков А.А., Краснов А.А., Семенов А.М. Установка магнетронного напыления геттерных покрытий в малоапертурных камерах. // ПТЕ, 2009, №6, с.127-130.
- [27] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Measurements of the  $\tau$  mass and the mass difference of the  $\tau^+$  and  $\tau^-$  at BABAR. // Phys. Rev. D, 2009, v.80 p.092005. - E-print: arXiv:0909.3562 [hep-ex].
- [28] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Precise measurement of the  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-(\gamma)$  cross section with the initial state radiation method at BABAR. // Phys. Rev. Lett., 2009, v.103, p.231801. - E-print: arXiv:0908.3589 [hep-ex].
- [29] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). A Search for invisible decays of the  $Y(1S)$ . // Phys. Rev. Lett., 2009, v.103, p.251801. - E-print: arXiv:0908.2840 [hep-ex].
- [30] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Observation and polarization measurement of  $B^0 \rightarrow a(1)(1260)^+ a(1)(1260)^-$  decay. // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.092007. - E-print: arXiv:0907.1776 [hep-ex].
- [31] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).  $B$  meson decays to charmless meson pairs containing  $\eta$  or  $\eta'$  mesons. // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.112002. - E-print: arXiv:0907.1743 [hep-ex].



- [32] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). A model-independent search for the decay  $B^+ \rightarrow t^+ \nu(1) \gamma$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.111105. - E-print: arXiv:0907.1681 [hep-ex]
- [33] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Measurement of branching fractions and CP and isospin symmetries in  $B \rightarrow K^*(892) \gamma$  decays. // Phys. Rev. Lett., 2009, v.103, p.211802. - E-print: arXiv:0906.2177 [hep-ex].
- [34] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Time-dependent amplitude analysis of  $B^0 \rightarrow K_{(S)}^0 \pi^+ \pi^-$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.112001. - E-print: arXiv:0905.3615 [hep-ex].
- [35] Aubert B., ..., Solodov E.P., et al. (BaBar and CMD2 Collab.). Results on  $e^+e^- \rightarrow$  hadrons cross sections from VEPP-2M and BaBar. // Nucl. Phys. Proc. Suppl., 2009, v.186, p.197-202.
- [36] Kotov K., Maslennikov A., Tikhonov Yu. Study of the response of ATLAS electromagnetic liquid argon calorimeters to muons. // NIM A, 2009, v.606, p.419-431.
- [37] Bukin A.D., Bukin D.A., Golubev V.B., Serebnyakov S.I., Skovpen K.Yu., Usov Yu.V. The project of using the SND NaI(Tl) calorimeter as an antineutron detector. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.264-265.
- [38] Barniyakov A.Yu., Barniyakov 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., Serebnyakov S.I., Vesenev V.M. High density aerogel for ASHIPH SND - test results. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.163-165.
- [39] Aulchenko V.M., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Bukin A.D., Bukin D.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Filatov P.V., Golubev V.B., Kharlamov A.G., Korol A.A., Koshuba S.V., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Popov V.M., Serebnyakov S.I., Sirotkin A.A., Surin I.K., Tikhonov Yu.A., Tsukanova E.G., Usov Yu.V., Vasiljev A.V., Vesenev V.M. SND tracking system - tests with cosmic muons. // NIM A, 2009, v.598, №1, p.102-104.
- [40] Aulchenko V.M., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Bukin D.A., Bukin M.A., Chekushkin E.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Korol A.A., Koshuba S.V., Tekutiev A.I., Usov Yu.V. DAQ and electronics for SND at VEPP-2000 - first test results. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.340-341.
- [41] Голубев В.Б., Середняков С.И., Сквпень К.Ю., Усов Ю.В. Проект измерения электромагнитного формфактора нейтрона в реакции  $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$  на коллайдере ВЭПП-2000. // ЯФ, 2009, т.72, №4, с.702-707.
- [42] Achasov M.N., Aulchenko V.M., 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., Perevedentsev E.A., Serebnyakov S.I., Shatunov Yu.M., Silagadze Z.K., Skrinsky A.N., Tikhonov Yu.A., Vasiljev A.V. Study of the process  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$  in the energy region radical  $\sqrt{s} = 980, 1040-1380$  MeV. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №11, p.112012-1-11.
- [43] Ачасов М.Н., Белобородов К.И., Бердюгин А.В., Ботов А.А., Васильев А.В., Голубев В.Б., Димова Т.В., Дружинин В.П., Коврижин Д.П., Кооп И.А., Король А.А., Кошуба С.В., Образовский А.Е., Пахтусова Е.В., Середняков С.И., Силагадзе З.К., Харламов А.Г., Шатунов Ю.М., Штоль Д.А. Изучение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  в области энергии  $\sqrt{s} < 1$  ГэВ со сферическим нейтральным детектором. // ЖЭТФ, 2009, т.136, №3(9), с.442-457.

- [44] Mo Xiao-Hu, Zhang Jian-Yong, Zhang Tian-Bao, Zhang Qing-Jiang, Achasov Mikhail, Fu Cheng-Dong, Muchnoi Nikolay, Qin Qing, Qu Hua-Min, Wang Yi-Fang, Wu Jing-Min, Xu Jin-Qiang and Yu Bo-Xiang. Measurement of radiation dose at the north interaction point of BEPC II. // *Chi. Phys. C*, 2009, v.33(10), p.914-921.
- [45] Silagadze Z.K. Mirror dark matter discovered? // *ICFAI University Journal of Physics*, 2009, v.2(2-3), p.143-154.
- [46] Chashchina O.I., Silagadze Z.K. The dog-and-rabbit chase problem as an exercise in introductory kinematics. // *Latin Am. J. Phys. Educ.*, 2009, v.3, p.539-543.
- [47] Chashchina O.I., Iorio L., Silagadze Z.K. Elementary derivation of the lense-thirring precession. // *Acta Phys. Polon. B*, 2009, v.40, p.2363-2378.
- [48] Silagadze Z. Quantum gravity, minimum length and Keplerian orbits. // *Phys. Lett. A*, 2009, v.A373, p.2643-2645.
- [49] Achasov M.N., Blinov V.E., Bogomyagkov A.V., Fu C.D., Harris F.A., Kaminsky V.V., Liu Q., Mo X., Muchnoi N.Yu., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Qin Q., Qu H., Olsen S.L., Pyata E.E., Shamov A.G., Shen C.P., Varner G.S., Wang Y., Xu J., Zhilich V.N. Energy determination at BEPC-II. // *Nucl. Phys. B*, 2009, v.189, p.366-370.
- [50] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Measurement of time-dependent CP asymmetry in  $B^0 \rightarrow c\bar{c}K^{(*)0}$  decays. // *Phys. Rev. D*, 2009, v.79, №7, p.072009-1-13. - [arXiv:0902.1708].
- [51] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Measurement of CP violation observables and parameters for the decays  $B^\pm \rightarrow \bar{K}^{*\pm}$ . *Phys. Rev. D*, 2009, v.80, p.092001. - [arXiv:0909.3981].
- [52] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Observation of the baryonic B-decay  $\bar{B}^0 \Lambda_c^+ \bar{p} K^- \pi^+$ . // *Phys. Rev. D*, v.80, p.051105. - [arXiv:0907.4566].
- [53] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Measurement of the branching fraction and  $\bar{\Lambda}$  polarization in  $B^0 \rightarrow \bar{\Lambda} p \pi^-$ . // *Phys. Rev. D*, 2009, v.79, №11, p.112009-1-10. - [arXiv:0904.4724].
- [54] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Observation of B meson decays to  $\omega K^*$  and improved measurements for  $\omega p$  and  $\omega f^0$ . // *Phys. Rev. D*, 2009, v.79, №5, p.052005-1-9. - E-print: arXiv:0901.3703 [hep-ex].
- [55] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Evidence for  $B^+ \rightarrow \bar{K}^{*0} K^0$ . // *Phys. Rev. D*, 2009, v.79, №5, p.051102-1-9. - E-print: arXiv:0901.1223 [hep-ex].
- [56] Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Search for  $b \rightarrow u$  transitions in  $B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$  decays. // *Phys. Rev. D*, 2009, v.80, p.031102. - E-print: arXiv:0904.2112 [hep-ex].

- [57] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Dalitz plot analysis of  $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\pm \pi^\pm$  decays. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, p.072006. - E-print: arXiv:0902.2051 [hep-ex].
- [58] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Improved measurement of  $B^+ \rightarrow \rho^+ \rho^0$  and determination of the quark-mixing phase angle  $\alpha$ . // Phys. Rev. Lett., 2009, v.102, p.141802. E-print: arXiv:0901.3522 [hep-ex].
- [59] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Measurement of the semileptonic decays  $\bar{B} \rightarrow D \tau^- \bar{\nu}_\tau$  and  $\bar{B} \rightarrow D^* \tau^- \bar{\nu}_\tau$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №9, p.092002-1-27. - E-print: arXiv:0902.2660 [hep-ex].
- [60] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Dalitz plot analysis of  $B^- \rightarrow D^+ \pi^- \pi^-$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №11, p.112004-1-16. - E-print: arXiv: arXiv:0901.1291 [hep-ex].
- [61] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Search for B-meson decays to  $b_1 \rho$  and  $b_1 K^*$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.80, №5, p.051101-1-7. E-print: arXiv: 0907.3485 [hep-ex].
- [62] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Search for the rare leptonic decays  $B^+ \rightarrow l^+ \nu_l (l = e, \mu)$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №9, p.091101. E-print: arXiv:0903.1220 [hep-ex].
- [63] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Search for  $B^0$  meson decays to  $\pi^0 K_S^0 K_S^0$ ,  $\eta K_S^0 K_S^0$ ,  $\eta' K_S^0 K_S^0$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.011101. - E-print: arXiv:0905.0868 [hep-ex].
- [64] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Study of  $D_{sJ}$  decays to  $D^* K$  in inclusive  $e^+ e^-$  interactions. // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.092003. - E-print: arXiv:0908.0806 [hep-ex].
- [65] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Measurement of  $D^0 - \bar{D}^0$  mixing using the ratio of lifetimes for the decays  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$  and  $K^+ K^-$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.071103. - E-print: arXiv:0908.0761 [hep-ex].
- [66] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Search for second-class currents in  $\tau^- \rightarrow \omega^0 \nu_\tau$ . // Phys. Rev. Lett., 2009, v.103, p.041802. - E-print: arXiv: 0904.3080 [hep-ex].
- [67] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Improved limits on lepton-flavor-violating  $\tau$  decays to  $\ell\phi$ ,  $\ell\rho$ ,  $\ell K^*$ , and  $\ell\bar{K}^*$ . // Phys. Rev. Lett., 2009, v.103, p.021801. - E-print: arXiv: 0904.0339 [hep-ex].*
- [68] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Search for lepton flavor violating decays  $\tau^- \rightarrow \ell^- K_S^0$  with the BABAR experiment. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №1, p.012004-1-9. - E-print: arXiv: 0812.3804 [hep-ex].*
- [69] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Exclusive initial-state-radiation production of the  $D\bar{D}$ ,  $D^*\bar{D}$ , and  $D^*\bar{D}^*$  systems. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №9, p.092001-1-12. - E-print: arXiv:0903.1597 [hep-ex].*
- [70] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Measurement of the  $\gamma^* \rightarrow \pi^0$  transition form factor. // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.052002. - E-print: arXiv: 0905.4778 [hep-ex].*
- [71] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Search for a low-mass Higgs boson in  $Y(3S) \rightarrow \gamma A^0$ ,  $A^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$  at BABAR. // Phys. Rev. Lett., 2009, v.103, p.181801. - E-print: arXiv:0906.2219 [hep-ex].*
- [72] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Search for dimuon decays of a light scalar boson in radiative transitions  $Y \rightarrow \gamma A^0$ . // Phys. Rev. Lett., 2009, v.103, p.081803. - E-print: arXiv:0905.4539 [hep-ex].*
- [73] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.). Evidence for the  $\eta_b(1S)$  meson in radiative  $Y(2S)$  decay. // Phys. Rev. Lett., 2009, v.103, p.161801. - E-print: arXiv:0903.1124 [hep-ex].*
- [74] *H. Stoeck, ..., A.E. Bondar, A.F. Buzulutskov, L.I. Shekhtman, V.I. Telnov, et al. The International large detector ILD. - Letter of Intent, March 2009.*
- [75] *Blinov V.E., Bogomyagkov A.V., Muchnoi N.Yu., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Shamov A.G., Zhilich V.N. Review of beam energy measurements at VEPP-4M collider. // NIM A, 2009, v.598, №1, p.23-30.*
- [76] *Peleganchuk S., et al. (KEDR, CMD-3 Collab.). Liquid noble gas calorimeters at Budker INP. // NIM A, 2009, v.598, №1, p.248-252.*
- [77] *Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Barutkin V.V., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Inami K., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Kurimoto K., Mori T., Ohshima T., Onuchin A.P., Tsygankov D.A., Yurikusa Y. Photomultiplier tubes with three MCPs. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.160-162.*
- [78] *Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Barutkin V.V., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Daniluk A.F., Kononov S.A., Kirillov V.L., Kravchenko E.A., Onuchin A.P. Influence of water on optical parameters of aerogel. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.166-168.*
- [79] *Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Kirillov*

- V.L., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Todyshev K.Yu.* FARICH optimization for precise velocity measurement. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.169-172.
- [80] *Черепанов В.А., Эйдельман С.И.* Сохранение векторного тока в распадах  $\tau \rightarrow \eta (\eta') \pi \pi^0$  *v.* // Письма в ЖЭТФ, 2009, т.89, №9, с.515.
- [81] *Cherepanov V.A., Eidelman S.I.* CVC and  $\tau$  lepton decays  $\tau \rightarrow \eta (\eta') \pi \pi^0$  *v.* // Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.), 2009, v.189, p.122-125.
- [82] *Eidelman S.* Standard model predictions for the Muon  $(g-2)/2$ . // Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.), 2009, v.189, p.208-215.
- [83] *Eidelman S.* tau lepton physics at B factories. // Acta Phys. Polon. B, 2009, v.40, p.3087.
- [84] *Buzulutskov A.* (editor), Instrumentation for colliding beam physics. // NIM A, 2009, v.598, p.1-360.
- [85] *Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Pavluchenko D., Tikhonov Y.* Recent results on the properties of two-phase argon avalanche detectors. // NIM A, 2009, v.598, №1, p.121-125.
- [86] *Akimov D., Bondar A., Burenkov A., Buzulutskov A.* Detection of reactor antineutrino coherent scattering off nuclei with a two-phase noble gas detector. // J. of Instrumentation, 2009, v.4. - Paper P06010. - p.1-13.
- [87] *Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Pavluchenko D., Tikhonov Y.* Electron emission properties of two-phase argon and argon-nitrogen avalanche detectors. // J. of Instrumentation, 2009, v.4. - Paper P09013, p.1-21.
- [88] *Бузулуцков А.Ф.* Современные экспериментальные методики в физике высоких энергий. // Учебно-методическое пособие по курсу лекций для магистрантов / А.Ф.Бузулуцков; Федерал. агентство по образованию, НГУ. Физ. фак. Каф. физики элементар. частиц. - Новосибирск: НГУ, 2009, 30 с.
- [89] *Shwartz B.* Belle calorimeter upgrade. // NIM A, 2009, v.598, №1, p.220-223.
- [90] *Bedny I.V., Bondar A.E., Cherepkov V.V., Epifanov D.A., Golkovsky M.G., Kuzmin A.S., Oreshkin S.B., Shebalin V.E., Shwartz B.A., Usov Yu.V.* Study of the radiation hardness of the pure CsI crystals. // NIM A, 2009, v.598, №1, p.273-274.
- [91] *Pettersson H., ..., Shwartz B., et al.* (CELSIUS-WASA Collab.). Eta production in proton-proton collisions at 72-MeV excess energy. Int. J. Mod. Phys. A, 2009, v.24, p.446-449.
- [92] *Skorodko T., ..., Shwartz B., et al.* (CELSIUS-WASA Collab.). Isospin decomposition of  $p p \rightarrow N N \pi \pi$  cross sections: Do we see a sign of  $\Delta(1600)$  excitation in the  $n n \pi^+ \pi^+$  channel? // Int. J. Mod. Phys. A, 2009, v.24, p.450-453.
- [93] *Kren F., ..., Shwartz B., et al.* (CELSIUS-WASA Collab.). The  $p p \rightarrow d \pi^+ \pi^0$  reaction: A case of  $\Delta \Delta$  excitation without ABC-effect. // 2009 Int. J. Mod. Phys. A, 2009, v.24, p.561-563.
- [94] *Schonning K., ..., Shwartz B., et al.* (CELSIUS/WASA Collab.). Production of the omega meson in the  $pd \rightarrow \text{He-3 } \omega$  reaction at 1450-MeV and 1360-MeV. // Phys. Rev. C, 2009, v.79, p.044002.
- [95] *Keleta S., ..., Kuzmin A., Shwartz B., et al.* Exclusive measurement of two-pion production in the  $dd \rightarrow \text{He-4 } \pi \pi$  reaction. // Nucl. Phys. A, 2009, v.825, p.71-90.
- [96] *Skorodko T., ..., Shwartz B., et al.* Two-pion production in proton-proton collisions: Experimental total cross sections and their isospin decomposition. // Phys. Lett. B, 2009, v.679, p.30-35.

- [97] Arinstein K., ..., Sokolov A., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Kuzmin A., Poluektov A., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurement of the branching fraction for the decay  $Y(4S) \rightarrow Y(1S) Y \pi^+ \pi^-$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №5, p.051103-1-5.
- [98] Chang Y.-W., ..., Bondar A., Eidelman S., Shwartz B., Usov Y., Zhilich V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Observation of  $B^0 \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda} K^{*0}$  at Belle. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №5, p.052006-1-13.
- [99] Uehara S., Arinstein K., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Kuzmin A., Poluektov A., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). High-statistics study of neutral-pion pair production in two-photon collisions. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №5, p.052009-1-13.
- [100] Pakhlov P., Arinstein K., ..., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Kuzmin A., Poluektov A., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurement of the  $e^+e^- \rightarrow J/\psi c\bar{c}$  c anti c cross section at radical s = 10.6 GeV. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №7, p.071101-1-7.
- [101] Arinstein K., Eidelman S., Gabyshev N., Shwartz B., Usov Y., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Search for the X(1812) in  $B \rightarrow K\omega\phi$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №7, p.071102-1-6.
- [102] Dalseno J., Arinstein K., ..., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Shwartz B., Usov Y., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Time-dependent Dalitz plot measurement of CP parameters in  $B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$  decays. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №7, p.072004-1-17.
- [103] R. Louvot, Arinstein K., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Usov Yu., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurement of the decay  $B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+$  and evidence for  $B_s^0 \rightarrow D_s^- K^+$  in  $e^+e^-$  annihilation at  $2E=10.87$  GeV. // Phys. Rev. Lett., 2009, v.102, p.021801.
- [104] Ko B.R., Arinstein K., ..., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Shwartz B., Zhilich V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Observation of doubly Cabibbo-suppressed decay  $D_s^+ \rightarrow K^+ K^+ \pi^-$ . // Phys. Rev. Lett., 2009, v.102, №22, p.221802-1-5.
- [105] Shen C.P., Arinstein K., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Observation of the  $\phi(1680)$  and the  $Y(2175)$  in  $e^+e^- \rightarrow \phi \pi^+ \pi^-$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.031101(R).
- [106] Mizuk R., Arinstein K., ..., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Shebalin V., Shwartz B., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Dalitz analysis of the  $B \rightarrow K \pi^+ \phi$  decays and the  $Z(4430)^+$ . // Phys. Rev. Lett. D, 2009, v.80, p.031104(R).
- [107] Uehara S., Arinstein K., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). High-statistics study of  $\eta\pi^0$  production in two-photon collisions // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p. 032001.
- [108] Kyeong S.-H., ..., Eidelman S., Gabyshev N., Shwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurement of charmless hadronic penguin decays in the  $\pi^+\pi^- K^+\pi^-$  final state and observation of  $B^0 \rightarrow \rho^0 K^+ \pi^-$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.051103(R).
- [109] Wiehczynski J., Arinstein K., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu.,

- Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurement of  $B \rightarrow D_s^{(*)} K \pi$  branching ratios. // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.052005.*
- [110] *Zupanc A., Arinstein K., ..., Aulchenko V., Eidelman S., Gabyshev N., Poluektov A., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurement of  $y_{CP}$  in D meson decays to  $K_s^0 K^+ K^-$  eigenstate. // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p. 052006.*
- [111] *Pakhlova G., Arinstein K., ..., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Study of the  $e^+e^- \rightarrow D^0 D^{*+} \pi^+$  cross section using initial-state radiation. // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.091101(R).*
- [112] *Won E., Arinstein K., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurement of  $D^+ \rightarrow K_s^0 K^+$  and  $D_s^+ \rightarrow K_s^0 \pi^+$  branching ratios. // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.111101.*
- [113] *Chen P., ..., Eidelman S., Gabyshev N., Poluektov A., Shebalin V., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., et al. (Belle Collab.). Observation of  $B^+ \rightarrow p \bar{\Lambda} \pi^+ \pi^-$  at Belle. // Phys. Rev. D, 2009, v.80, p.111103.*
- [114] *Wei J.-T., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Kuzmin A., Shwartz B., Usov Yu., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurements of the differential branching fraction and forward-backward asymmetry for  $B \rightarrow K^{*0} l^+ l^-$ . // Phys. Rev. Lett., 2009, v.103, p.171801.*
- [115] *Limosani A., Arinstein K., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurement of inclusive radiative B-meson decays with a photon energy threshold of 1.7 GeV. // Phys. Rev. Lett., 2009, v.103, p.241801.*
- [116] *Solovieva E., Arinstein K., ..., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Kuzmin A., Usov Yu., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Study of  $\Omega_{c0}$  and  $\Omega_c^{*0}$  at Belle. // Phys. Lett. B, 2009, v.672, p.1.*
- [117] *Inami K., Arinstein K., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Precise measurement of hadronic  $\tau$  decays with  $\eta$  meson. // Phys. Lett. B, 2009, v.672, p.209.*
- [118] *Miyazaki Y., Arinstein K., ..., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Kuzmin A., Poluektov A., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Search for lepton-flavor-violating  $\tau$  decays into a lepton and an  $f_0(980)$  meson. // Phys. Lett. B, 2009, v.672, p.317.*
- [119] *Belous K., Arinstein K., ..., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Kuzmin A., Poluektov A., Shebalin V., Shwartz B., Usov Yu., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V., Zyukova O., et al. (Belle Collab.). Measurement of cross sections of exclusive  $e^+e^- \rightarrow VP$  processes at  $2E=10.58$  GeV. // Phys. Lett. B, 2009, v.681, p.400.*
- [120] *Бару С.Е. Установка персонального досмотра для предотвращения терактов на стратегически важных объектах. // Берг-коллегия, 2009, 7 (58), с.44-45.*
- [121] *Бару С.Е., Борисенко А.П., Куликов В.Г., Махотин А.А., Шевела А.И. Предложена новая модель низкодозной биконтрастной полипозиционной флюорографии желудка*

- в скрининге рака желудка. // Сб. материалов научной конференции «Медицинская геномика и протеомика», сентябрь 2009, Новосибирск, с.161.
- [122] Бару С.Е. Микродозовые рентгенографические системы и области их оптимального применения. // Медицинская техника, 2009, №5, с.40-41.
- [123] Бару С.Е. Установка персонального досмотра «Сибскан-М1» для защиты особо важных объектов. // Сб. материалов XII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности», апрель 2009, Санкт-Петербург, т.1, с.71-177.
- [124] Григорьев Д.Н., Бабичев Е.А., Бару С.Е., Поросев В.В., Савинов Г.А. Рентгенографическая установка для оперативного обследования пострадавших. // Вестник Российской военно-медицинской академии. Приложение №1 (25) - 2009.
- [125] Бабичев Е.А., Украинцев Ю.Г., Раевский И.В. Цифровой микродозовый сканер для рентгенодиагностики в оториноларингологии. // Медицинский алфавит, 2009, №2, с.13-14.
- [126] Поросев В.В., Украинцев Ю.Г. Сканирующий метод визуализации в рентгенодиагностике. // Медицинский алфавит. Больница, 2009, №3, с.13.
- [127] Руднева Т.В., Руднев С.В., Украинцев Ю.Г., Борисенко А.П. Цифровая рентгенодиагностика в перинатологии. // ОРЖИН, 2009, №5, с.6-7.
- [128] Руднева Т.В., Руднев С.В., Украинцев Ю.Г., Борисенко А.П. Цифровая рентгенодиагностика в перинатальных центрах. // Материалы X Юбилейного всероссийского научного форума МАТЬ и ДИТЯ, 29 сентября - 2 октября, 2009, Москва. - Медицинский бизнес, 2009, №9 (183), с.66-67.
- [129] Ахметшин Р.Р., Григорьев Д.Н., Казанин В.Ф., Царегородцев С.М., Юдин Ю.В. Статус торцевого ВГО калориметра детектора КМД-3. // Ядерная Физика, 2009, т.72, №3, с.512-517.
- [130] Bennet G.W., ..., Grigoriev D.N., et al (Muon g-2 Collaboration). An improved limit on the muon electric dipole moment. // Phys. Rev. D, 2009, v.80, №5, p.052008-052026.
- [131] Aulchenko V.M., Bobrov A.V., Bondar A.E., Shekhtman L.I., Usov E.V., Zhilich V.N., Zhulanov V.V. Triple-GEM detectors for KEDR tagging system. // NIM A, 2009, v.598, №1, p.112-115.
- [132] Aulchenko V.M., Papushev P.A., Sharafutdinov M.R., Shekhtman L.I., Titov V.M., Tolochko B.P. and Zhulanov V.V. Progress with one-coordinate detector for WAXS. // NIM A, 2009, v.603, №1, p.69-72.
- [133] V.M. Aulchenko, O.V. Evdokov, L.I. Shekhtman, K.A. Ten, B.P. Tolochko, I.L. Zhogin and V.V. Zhulanov. Current status and further improvements of the detector for imaging of explosions. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.73-75.
- [134] Ten K.A., Aulchenko V.M., Lukjanchikov L.A., Prueel E.R., Shekhtman L.I., Tolochko B.P., Zhogin I.L., Zhulanov V.V. Application of introduced nano-diamonds for the study of carbon condensation during detonation of condensed explosives. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.102-104.
- [135] Ten K.A., Prueel E.R., Merzhievsky L.A., Lukjanchikov L.A., Tolochko B.P., Zhogin I.L., Shekhtman L.I. Tomography of the flow field of detonation product using SR. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.160-163.
- [136] Черноусов Ю. Д., Иванников В. И., Шеболаев И. В., Левичев А.Е, Павлов В.М.



- Способ определения коэффициента межрезонаторной связи системы двух связанных резонаторов. // Патент на изобретение, No2368986, Б.И. 2009, No27.
- [137] *Логачев П.В., Малютин Д.А., Старостенко А.А.* Развертка с параллельным переносом электронного пучка для измерителя поперечного профиля интенсивного ионного сгустка. // ПТЭ, 2009, №4, с.132-136.
- [138] *Бак П.А., Болховитянов Д.Ю., Корепанов А.А., Логачев П.В., Малютин Д.А., Старостенко А.А., Цыганов А.С.* Прибор для измерения влияния полей излучения на интенсивный сгусток международного линейного коллайдера. // Вестник НГУ. Сер.: Физика, 2009, т.4, №1, с.30-36.
- [139] *Бак П.А., Логачев П.В., Малютин Д.А., Старостенко А.А.* Регистрация полей излучения интенсивных электронных сгустков в линейном ускорителе инжекционного комплекса ВЭПП-5. // Вестник НГУ. Сер.: Физика, 2009, т.4, №1, с.37-42.
- [140] *Алиновский Н.И., Гончаров А.Д., Клюев В.Ф., Константинов С.Г., Константинов Е.С., Крючков А.М., Пархомчук В.В., Петриченко М.В., Растигеев С.А., Рева В.Б.* Ускорительный масс-спектрометр СО РАН. // ЖТФ, 2009, т.9, №9, с.107-111.
- [141] *Пархомчук В.В., Растигеев С.А.* Исследование ионного фона в ускорительном масс-спектрометре СО РАН. // ЖТФ, 2009, т.79, №10, с.129-132.
- [142] *Алиновский Н.И., Константинов Е.С., Пархомчук В.В., Петрожицкий А.В., Растигеев С.А., Рева В.Б.* Времяпролетный детектор ионов малой энергии для ускорительного масс-спектрометра. // ПТЭ, 2009, №2, с.90-93.
- [143] *Балдин Е.М., Анашин В.В., Аульченко В.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бару С.Е., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Блинов В.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Богомягков А.В., Бондарь А.Е., Бондарев Д.В., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Глуховченко Ю.М., Жилич В.Н., Журавлев А.Н., Карнаев С.Е., Карпов Г.В., Карпов С.В., Киселев В.А., Козлова Т.А., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Куликов В.Ф., Куркин Г.Ю., Купер Е.А., Левичев Е.Б., Максимов Д.А., Мальшиев В.М., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мешков О.И., Мишнев С.И., Морозов И.И., Мучной Н.Ю., Нейфельд В.В., Никитин С.А., Николаев И.Б., Окунев И.Н., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Петров В.В., Петросян С.С., Пивоваров С.Г., Пиминов П.А., Полуэктов А.О., Попков И.Н., Поспелов Г.Е., Присекин В.Г., Рубан А.А., Савинов Г.А., Сандырев В.К., Симонов Е.А., Синяткин С.В., Сквонень Ю.И., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Старостина Е.В., Стручалин М.В., Сухарев А.М., Тальшиев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю., Тумайкин Г.М., Усов Ю.В., Цыганков Д.А., Черепанов В.П., Шамов А.Г., Шатилов Д.Н., Шварц Б.А., Шубин Е.И., Эйдельман С.И., Юшков А.Н.* Изучение процесса  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$  на детекторе КЕДР. // ЯФ, 2009, т.72, №3, с.531-536.
- [144] *Anchugov O., G., Kuper E., Kuptsov I., Kurkin G., Kuznetsov K., Medvedko A., Mishachev V., Novikov V., Odintsov D., Ostreiko G., Petrov V., Philipchenko A., Pilevin A., Pilan A., Salaschenko N., Schegolev L., Sedlyar ov I., Serdobintsev G., Spinko N., Shvedov D., Sinyatkin S., Steshov A., Tararyshkin S., Turyansky A., Vasichev S., Veremeenko V., Volokhovskiy A., Yurpinov Yu., Ushakov V., Valentinov A., Yudin V.* Status of the «Zelenograd» storage ring. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.4-6.
- [145] *Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kolobanov E.I., Matveenkov A.N., Medvedev L.E., Ovchar V.K., Salikova T.V., Scheglov M.A., Serebnyakov S.S., Vinokurov N.A.* Modulation instability, three mode regimes and harmonic generation at the Novosibirsk terahertz free electron laser // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.25-27.

- [146] *Volkov V.* Prediction and suppression of beam breakup instability in multicell superconducting cavities // *Physical Review Special Topics – Accelerators and Beams*, 2009, v.12, Art.011301, 28 January, 2009, p.011301-1–011301-9.
- [147] *Ерохин А.И., Медведко А.С.* Компьютерное моделирование импульсной цепи управления размыкателя постоянного тока в системе вывода энергии из 13кА сверхпроводящих магнитов. // *Вестник НГУ. - Серия: Физика*, 2009, том 4, №2, 2009, с.84-91.
- [148] *Беликов О.В., Медведко А.С., Козак В.Р.* Источник подшунтирования электромагнитов для коррекции параметров пучка в ускорителях и накопителях заряженных частиц. // *Вестник НГУ. - Серия: Физика*, 2009, т.4. №3. с.63-66.
- [149] *Острейко Г.Н., Рувинский С.И., Сердобинцев Г.В., Тиунов М.А., Ушаков В.А., Филипченко А.В., Чернов К.Н., Корчуганов В.Н.* Линейный ускоритель-инжектор комплексов специализированных источников синхротронного излучения «Сибирь» и ТНК. // *ПТЭ*, 2009, №4, с.42-49.
- [150] *Ауслендер В.Л., Макаров И.Г., Острейко Г.Н., Панфилов А.Д., Подобоев В.С., Ромашко Н.Д., Тарнецкий В.В., Тиунов М.А., Ткаченко В.О.* Сужение энергетического спектра электронов в ускорителе ИЛУ-10. // *ПТЭ*, 2009, №4, с.137-143.
- [151] *Колмогоров В.В., Абдрашитов Г.Ф.* Источник высоковольтного питания атомарного инжектора. // *ПТЭ*, 2009, №6, с.69-73.
- [152] *Колмогоров В.В.* Источник высоковольтного питания диагностического атомарного инжектора Токамака Alcator-Cmod. // *ПТЭ*, 2009, №6, с.74-81.
- [153] *Белозёров А.В., Бечер Ю., Булычёва Ю.К., Замрий В.Н., Каюков А.С., Кобец В.В., Мешков И.Н., Минашкин В.Ф., Петров В.А., Пятаев В.Г., Седышев П.В., Скрыпник А.В., Сумбаев А.П., Уфимцев А.В., Шабратов В.Г., Швец В.А., Швецов В.Н., Фатеев А.А. (Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Московская область), Беликов О.В., Гальт А.А., Логачёв П.В., Медведко А.С., Павлов В.М. (ИЯФ, Новосибирск).* Физический пуск первой очереди установки ИРЕН. // *Физика элементарных частиц и атомного ядра. - Дубна*, 2009, т.40, 8 стр.
- [154] *Е.В. Быков, Р.В. Воскобойников, А.В. Иванов, Г.И. Кузин, Л.В. Кулина, Н.Н. Лебедев, О.А. Тенекеджи.* Практикум по радиоэлектронике. Часть 1. (методическое руководство). Новосибирск: НГУ, 2009, 70 с.
- [155] *Осипов В. Н.* «Модуляция-демоуляция»: Методические указания к лабораторной работе №5 «Трансформатор» по курсу РЭЛ. // *Новосибирский государственный университет, Физический факультет, кафедра радиофизики. Новосибирск: НГУ*, 2009, 26 с.
- [156] *Сеньков Д.В.* Лабораторная работа № 8, «Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи»: Методическое пособие для лабораторной работы по практикуму «Радиоэлектроника». - НГУ 2009 - 24 с.
- [157] *Беликов О.В.* Лабораторная работа № 11, «Биполярный транзистор и изолированным затвором (IGBT)». Методическое пособие для лабораторной работы по практикуму «Радиоэлектроника»: НГУ, 2009, 12 с.
- [158] *Гальт А.А., Токарев Ю.Ф.* Лабораторная работа № 13, «Импульсные источники питания», методические указания к лабораторной работе № 13, 2009 - 14 с.
- [159] *Федотов М.Г.* Частично переработаны электронные конспекты курса лекций для 2-го курса Физического факультета НГУ: Основы радиоэлектроники. -<http://www.inp.nsk.su/~fedotov/lectures>.

- [160] *Ауслендер В.Л., Безуглов В.В., Брызгин А.А., Воронин Л.А., Горбунов В.А., Панфилов А.Д., Подобаев В.С., Радченко В.М., Ткаченко В.О., Факторович Б.Л., Ческидов В.Г., Штарклев Е.А.* Импульсный высокочастотный линейный ускоритель электронов ИЛУ-8. // ПТЭ, 2009, №3, с.98-103.
- [161] *Auslender V.L., Makarov I.G., Ostreiko G.N., Panfilov A.D., Podobaev V.S., Romashko N.D., Tarnetskii V.V., Tiunov M.A. and Tkachenko V.O.* Narrowing of the electron energy spectrum in the ILU-10 accelerator. // Instruments and Experimental Techniques, 2009, v.52, №4, p.574-580.
- [162] *Caldwell A., Lotov K., Pukhov A., and Simon F.* Proton driven plasma wakefield acceleration. // Nature Phys., 2009, v.9, N 5, p.363-367.
- [163] *Лотов К.В., Терехов А.В., Тимофеев И.В.* О насыщении двухпоточковой неустойчивости электронного пучка в плазме. // Физика плазмы, 2009, т.35, №6, с.567-574.
- [164] *Timofeev I.V., Lotov K.V., and Terekhov A.V.* Direct computation of the growth rate for the instability of a warm relativistic electron beam in a cold magnetized plasma. // Phys. Plasmas, 2009, v.16, №6, p.063101(1-5).
- [165] *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 Optic Society of America B, JOSA B, 2010, v.27, Issue 1, p.16-26. - Published Online 11 November 2009.
- [166] *Stupakov G.V., Kotelnikov I.A.* Calculation of coherent synchrotron radiation impedance using the mode expansion method. // Phys. Rev. ST Accel. Beams, 2009, v.12, p.104401.
- [167] *Akhmetov Timur, Kotelnikov Igor.* Equilibrium of nonneutral plasmas in a Malmberg-Penning Trap with quadrupole field errors. // Physics of Plasmas, 2009, v.16, p.122103.
- [168] *Kotelnikov I., Romé M.* Relativistic effects on the equilibrium of electron plasmas. Fusion Science and Technology, 2009, v.55, №2Т, p.140-143.
- [169] *Kotelnikov I., Romé M.* Equilibrium of nonneutral plasmas in a Malmberg-Penning trap with a tilted magnetic field. // Fusion Science and Technology, 2009, v.55, №2Т, p. 205-208.
- [170] *Chaschin M.S., Kotelnikov I.A.* On interpreting the diamagnetism of a compact plasmoid. // Fusion Science and Technology, 2009, v.55, №2Т, p.200-204.
- [171] *Чащин М.С., Беклемишев А.Д.* Неустойчивость коротковолновых возмущений дифференциально вращающейся плазмы. // Вестник НГУ. Сер.: Физика, 2009, т.4, №2, с.27-39.
- [172] *Davydenko V., Ivanov A.* Diagnostic neutral beams for plasma studies in magnetic fusion devices. // Fusion Physics and Technologies. Anniversary Book for 50 Years of Fusion Research, International Atomic Energy Agency, 2009 (in print).
- [173] *Кузнецов А.С., Малышкин Г.Н., Макаров А.Н., Сорокин И.Н., Суляев Ю.С., Таскаев С.Ю.* Первые эксперименты по регистрации нейтронов на ускорительном источнике для бор-нейтронозахватной терапии. // Письма в ЖТФ, 2009, т.35, №8, с.1-6.
- [174] *Bayanov B., Kashaeva E., Makarov A., Malyshkin G., Samarin S., Taskaev S.* A neutron producing target for BINP accelerator-based neutron source. // Applied Radiation and Isotopes, 2009, v.67, Issues 7-8, Supplement 1, p.S282-S284.
- [175] *Bayanov B., Burdakov A., Chudaev V., Ivanov A., Konstantinov S., Kuznetsov A., Makarov A., Malyshkin G., Mekler K., Sorokin I., Sulyaev Yu., Taskaev S.* First neutron generation in the BINP accelerator based neutron source. // Applied Radiation and Isotopes, 1009, v.67, Issues 7-8, Supplement 1, p.S285-S287.

- [176] *Anikeev A.V., Bagryansky P.A., Prikhodko V.V., Soldatkina E.I., Tsidulko Yu.A., Kolesnikov E.Yu., Lizunov A.A., Noack K., Konheiser J., Berger T.* Study of high temperature and high density plasmoids in axially simmetrical magnetic fields. // *Wissenschaftlich-Technische Berichte*, 2009, FZD-513, ISSN 1437-322X.
- [177] *Коржавина М.С., Аникеев А.В., Багрянский П.А.* Изучение микронеустойчивостей в анизотропном плазмоеде ионов с термоядерными энергиями. // *Вестник НГУ, серия: Физика*. - 2009, т.4. №1, с.25-29.
- [178] *Burdakov A., Arzhannikov A., Astrelin V., Batkin V., Beklemishev A., Burmasov V., Derevjankin G., Ivanenko V., Ivanov I., Ivantsivskiy M., Kandaurov I., Konyukhov V., Kotelnikov I., Kuklin K., Kuznetsov S., Lotov K., Timofeev I., Makarov A., Makarov M., K. Mekler, Popov S., Polosatkin S., Postupaev V., Rovenskikh A., Shoshin A., Shvab I., Sinitsky S., Suliaev Yu., Stepanov V., Trunyov Yu., Vyacheslavov L., Zhukov V., Zubairov Eh.* Status and prospects of GOL-3 multiple mirror trap. // *Fusion Science and Technology*, 2009, v.55, №2T, p.63-70.
- [179] *Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Belykh V.V., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Ivantsivskiy M.V., Kolosov M.V., Krygina A.S., Kuklin K.N., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Shoshin A.A., Sorokina N.V., Sinitsky S.L., Suliaev Yu.S., Trunyov Yu.A., Vyacheslavov L.N., Zubairov Ed.R.* Dynamics of electron distribution function in multiple mirror trap GOL-3. // *Fusion Science and Technology*, 2009, v.1.55, №2T, p.144-146.
- [180] *Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Beklemishev A.D., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Ivantsivskiy M.V., Kuklin K.N., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Shoshin A.A., Sinitsky S.L., Suliaev Yu.S., Vyacheslavov L.N., Zubairov Ed.R.* Experiment with large-mirror-ratio corrugation at multiple mirror trap GOL-3. // *Fusion Science and Technology*, 2009, v.55, №2T, p.147-152.
- [181] *Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Beklemishev A.D., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Ivantsivskiy M.V., Kuklin K.N., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Popov S.S., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Shoshin A.A., Sinitsky S.L., Suliaev Yu.S., Vyacheslavov L.N., Zubairov Ed.R.* First experiments on neutral injection in multimirror trap GOL-3. // *Fusion Science and Technology*, 2009, v.55, №2T, p.153-156.
- [182] *Астрелин В.Т., Аржанников А.В., Бурдаков А.В., Синуцкий С.Л., Степанов В.Д.* Оптимизация ленточного диода с магнитной изоляцией для повышения плотности тока в сильнооточном релятивистском электронном пучке. // *Прикладная механика и техническая физика*, 2009, т.50, № 3, с.25-35.
- [183] *Kuznetsov A.S., Belchenko Yu.I., Burdakov A.V., Davydenko V.I., Donin A.S., Ivanov A.A., Konstantinov S.G., Krivenko A.S., Kudryavtsev A.M., Mekler K.I., Sanin A.L., Sorokin I.N., Sulyaev Yu.S., Taskaev S.Yu., Shirokov V.V. and Eidelman Yu.I.* The detection of nitrogen using nuclear resonance absorption of mono-energetic gamma rays. // *NIM A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, v.606, Issue 3, 21 July 2009, p.238-242.
- [184] *Астрелин В.Т., Аржанников А.В., Бобылев В.Б., Иваненко В.Г., Синуцкий С.Л.* Источник мощного релятивистского электронного пучка с высокой яркостью. // *ПТЭ*, 2009, №6, с.82-86.
- [185] *Arzhannikov A.V., Cross A.W., Ginzburg N.S., He W., Kalinin P.V., Konoplev I.V., Kuznetsov S.A., Peskov N.Yu., Phelps A.D.R., Robertson C.W., Ronald K., Sergeev A.S., Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Thumm M, Whyte C.G., and Zaslavsky V.Yu.* Production of powerful spatially coherent radiation in planar and coaxial FEM exploiting two-dimensional distributed feedback (Invited Paper). // *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2009, v.37, №9, p.1792-1800.

- [186] *Sinitsky S.L., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Kalinin P.V. and Stepanov V.D.* Simultaneous generation and transport of two microsecond sheet REBs in application to multichannel FEM. // *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2009, v.37, №10, p.1885-1889.
- [187] *Kuznetsov S.A., Navarro-Cía M., Kubarev V.V., Gelfand A.V., Beruete M., Campillo I., Sorolla M.* Regular and anomalous extraordinary optical transmission at the THz-gap. // *Optics Express*, 2009, v.17, №14, p.11730-11738.
- [188] *Кузнецов С.А., Гольденберг Б.Г., Калинин П.В., Елисеев В.С., Петрова Е.В.* Разработка медных сеточных структур для частотной и пространственной селекции ТГц-излучения новосибирского лазера на свободных электронах. // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, 2009, №9, с.38-49.
- [189] *Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Воскобойников Р.В., Горбовский А.И., Иванов А.А., Иванов И.А., Капитонов В.А., Константинов С.Г., Куклин К.Н., Полосаткин С.В., Тиунов М.А.* Многоцелевой имплантер для развития высоких технологий. // *Краткие сообщения по физике ФИАН*, 2009, т. 36, №11, с.15-17.
- [190] *Ptitsyn V.I., Shatunov Yu.M., Mane S.R.* Spin response formalism in circular accelerators. // *NIM A*, 2009, v.608, №2, p.225-233.
- [191] *Shatunov Yu.M., et al.* Analysis of data for stored polarized beams using a spin flipper. // *AIP Conf. Proc*, 2009, v.1149, p.813-816.
- [192] *Berkaev D., Kirpotin A., Koop I., Lysenko A., Nesterenko I., Otboev A., Perevedentsev E., Rogovsky Yu., Romanov A., Shatunov P., Shatunov Yu., Shwartz D., Valkovich A., Zemlyansky I.* First commissioning results of VEPP-2000. // *ICFA Beam Dyn. Newslett.*, 2009, v.48, p.235-242.
- [193] *Shatunov Yu.M., et al.* Calculations of spin response functions in rings with Siberian Snakes and spin rotators?. // *Phys. Rev. ST Accel. Beams*, 2009, v.12, p.024001 (Erratum-ibid. 2009, v.12, p.039902).
- [194] *Achasov M.N., Berkaev D.E., Bogdanchikov A.G., Bukin D.A., Koop I.A., Korol A.A., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Otboev A.V., Perevedentsev E.A., Rogovsky Yu.A., Romanov A.L., Shatunov P.Yu., Shatunov Yu.M., Shwartz D.B., Valkovich A.A., Zemlyansky I.M.* First experience with SND calorimeter at VEPP-2000 collider. // *NIM A*, 2009, v.598, №1, p.31-32.
- [195] *Blinov A., Bogomyagkov A., Bondar A., Kiselev V., Koop I., Kurkin G., Levichev E., Logachev P., Nikitin S., Okunev I., Petrov V.M., Piminov P., Pupkov Yu., Shatilov D., Sinyatkin S., Smaluk V., Skrinsky A., Vobly P.* The project of Tau-charm factory with crab waist in Novosibirsk. // *ICFA Beam Dyn. Newslett*, 2009, v.48, p.268-279.
- [196] *Koop I., Levichev E., Piminov P., Shatilov D., Smaluk V., et al.* Present status of the DAFNE upgrade and perspectives. // *Int. J. Mod.P hys. A*, 2009, v.24, p.360-368.
- [197] *Полетика И.М., Голковский М.Г., Крылова Т.А., Перовская М.В.* Структура и свойства хромсодержащих покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавки в атмосфере. // *МиТОМ*, 2009, №3, с.15-22.
- [198] *Полетика И.М., Голковский М.Г., Крылова Т.А., Иванов Ю.Ф., Перовская М.В.* Формирование структуры металла электронно-лучевой наплавки карбидом вольфрама. // *Перспективные материалы*, 2009, №4, с.65-70.
- [199] *Крылова Т.А., Полетика И.М., Голковский М.Г.* Влияние модифицирования и термической обработки на структуру металла покрытия, полученного электронно-лучевой наплавкой карбидом вольфрама. // *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2009, №10, с.39-45.

- [200] *Голковский М.Г., Полетика И.М., Салимов Р.А.* Электронно–лучевая наплавка покрытий на титановые сплавы. // *ФиХОМ*, 2009, №1, с.56-64.
- [201] *Полетика И.М., Иванов Ю.Ф., Голковский М.Г., Крылова Т.А., Перовская М.В.* Структура и свойства коррозионно-стойких покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавки в атмосфере воздуха. // *МиТОМ*, 2009, №12, с.33-39.
- [202] *Полетика И.М., Крылова Т.А., Иванов Ю.Ф., Голковский М.Г., Перовская М.В.* Создание многофункциональных хромсодержащих покрытий методом электронно-лучевой наплавки в атмосферном воздухе. // *Металлофизика и новейшие технологии*. 2009, Выпуск 11, т.31, с.1411-1424.
- [203] *Голубенко Ю.И., Куksанов Н.К., Салимов Р.А., Немытов П.И.* Вывод мощного пучка электронов в атмосферу через два параллельно расположенных листа титановой фольги. // *Журнал: Прикладная механика и техническая физика*, ISSN 0869-5032, 2009.
- [204] *Bardakhanov S.P., Korchagin A.I., Kuksanov N.K., Lavrukhin A.V., Salimov R.A., Fadeev S.N., Cherepkov V.V., Veis M.E., Nomoev A.V., Bazarova D.Zh., Lysenko V.I., Goltkovskiy M.G.* The possibilities of production of nanopowders with high power ELV electron accelerator. // *Bulletin of Materials Science*, 2009, v.32, №6.
- [205] *Grozin A.G., Khriplovich I.B., Rudenko A.S.* Upper limits on electric dipole moments of  $\tau$ -lepton, heavy quarks, and W-boson. // *Nucl. Phys. B*, 2009, v.821, p.285-290.
- [206] *Грозин А.Г., Хриплович И.Б., Руденко А.С.* Электрические дипольные моменты от  $e$  до  $\tau$ . // *ЯФ*, 2009, v.72, №7, p.1251-1253.
- [207] *Khriplovich I.B. and Shepelyansky D.L.* Capture of dark matter by the solar system. // *Intern. Journal of Modern Physics D*, 2009, v.18, №12, p.1-10.
- [208] *Khriplovich I.B., Lamoreaux S.K., Sushkov A.O., Sushkov O.P.* Comment on “Rovibrational quantum interferometers and gravitational waves”. // *Phys. Rev. A*, in press.
- [209] *Blinov A.E., Rudenko A.S.* Upper limits on electric and weak dipole moments of  $\tau$ -lepton and heavy quarks from  $e^+e^-$  annihilation. // *Nucl. Phys. B*, 2009, v.189, p.257-259.
- [210] *Kirilin G.G. and Lee R.N.* ( $Z\alpha^4$ ) order of the polarization operator in Coulomb field at low energy. // *Nucl. Phys. B*, 2009, v.807, p.73.
- [211] *Ivanov V.G., Karshenboim S.G., and Lee R.N.* Electron shielding of the nuclear magnetic moment in a hydrogenlike atom. // *Phys. Rev. A*, 2009, v.79, p.012512.
- [212] *Lee R.N.* Space-time dimensionality  $D$  as complex variable: calculating loop integrals using dimensional recurrence relation and analytical properties with respect to  $D$ . // *Nucl. Phys. B*, 2009, in press.
- [213] *Grozin A.G. and Lee R.N.* Three-loop HQET vertex diagrams  $B^0 - \bar{B}^0$  mixing. // *Journal of High Energy Physics*, 2009, v.02, p.047.
- [214] *Bekavac S., Grozin A.G., Seidel D., Smirnov V.A.* Three-loop on-shell Feynman integrals with two masses. // *Nucl. Phys. B*, 2009, v.819 p. 183-200.
- [215] *Reznichenko A.V., Kozlov M.G.* QCD amplitudes with the gluon exchange at high energies (and gluon reggeization proof). // *Frascati Physics Series*, 2009, v.XLVIII, p.1-6.
- [216] *Sokolov Valentin V., Zhirov Oleg V., Benenti Giuliano, Casati Giulio.* Quantum Chaos: Degree of reversibility of quantum dynamics of classically chaotic systems. // *World Scientific*, 2009, p.314-322.

- [217] *Sokolov Valentin V., Zhirov Oleg V., and Kharkov Yaroslav A.* Quantum dynamics against a noisy background. // *Europhys. Lett.*, 2009, v.88, p.60002.
- [218] *Dmitriev V.F., Flambaum V.V., Auerbach N.* Coulomb energy contribution to the excitation energy in  $^{229}\text{Th}$  and enhanced effect of  $\alpha$  variation. // *Europhys. Lett.*, 2009, v.85, p.50005.
- [219] *Дмитриев В.Ф.* Спектр  $\alpha$ -частиц в реакции  $p+^{11}\text{B} \rightarrow \alpha+^8\text{Be}^* \rightarrow 3\alpha$ . // *ЯФ*, 2009, т.72, с.1165–1167.
- [220] *Dmitriev V.F.*  $\alpha$ -particle spectrum in the reaction  $p+^{11}\text{B} \rightarrow \alpha+^8\text{Be}^* \rightarrow 3\alpha$ . // *Physics of Atomic Nuclei*, 2009, v.72, №7, p.1211-1214.
- [221] *Zhirov O.V. and Shepelyansky D.L.* Quantum synchronization and entanglement of two qubits coupled to a driven dissipative resonator. // *Phys. Rev. B*, 2009, v.80, p.014519.
- [222] *Piazza A.Di, Lotstedt E., Milstein A.I., Keitel C.H.* Barrier control in tunneling  $e^+e^-$  photoproduction. // *Phys. Rev. Lett.*, 2009, v.103, p.170403.
- [223] *Лу Р.Н., Мильштейн А.И.* Сильное подавление кулоновских поправок к сечению рождения  $e^+e^-$  пар в столкновениях ультрарелятивистских ядер. // *ЖЭТФ*, 2009, т.136, с.1121-1126.
- [224] *Лу Р.Н., Мильштейн А.И.* Поправка к формуле Мольера для многократного рассеяния. // *ЖЭТФ*, 2009, т.135, с.1125-1128.
- [225] *Jackiw R., Milstein A.I., Pi S.-I., Terekhov I.S.* Induced current and Aharonov-Bohm effect in graphene. // *Phys. Rev. B*, 2009, v.80, p.033413.
- [226] *Бибердорф Э.А., Блохин А.М., Попова Н.И., Трахинин Ю.Л.* Система кровообращения и артериальная гипертензия: биофизические и генетико-физиологические механизмы, математическое и компьютерное моделирование. Глава 4: Глобальное моделирование артериальной системы человека (монография). Новосибирск: Издательство СО РАН. Интеграционные проекты, 2009, вып.17, с.106-134.
- [227] *Fadin V.S., Fiore R., Grabovsky A.V.* On the discrepancy of the low-x evolution kernels. // *Nucl. Phys. B*, 2009, v.820, p.334. - [arXiv:0904.0702 [hep-ph]] (38 p).
- [228] *Baier V.N. and Katkov V.M.* Electroproduction of electron-positron pair in oriented crystal at high energy. // *Physics Letters A*, 2009, v.373, p.1874-1879.
- [229] *Baier V.N. and Katkov V.M.* Recent development of quasiclassical operator method. // *Journal of Physics: Conference Series*, 2009, v.198, p.012003.
- [230] *Skrinsky A.N.* Electron-positron colliders, detectors and experiments at BINP. // *NIM A*, 2009, v.598, №1, p.1-6.
- [231] *Knyazev B.A., Kubarev V.V.* Wide-field imaging using a tunable terahertz free electron laser and a thermal image plate. // *Infrared Phys. & Technology*, 2009, v.52, p.14-18.
- [232] *Khriplivich I.B.* Cerenkov radiation of a spinning particle. // *ЖЭТФ*, 2009, v.135, №1, p.51-55.
- [233] *Хриплович И.* Мне повезло - я выбрал замечательную профессию. /Беседу вела Н.Демина. // *Троицкий вариант*, 2009, №2(21), с.7.
- [234] *Kruglyakov E.P., Burdakov A.V., Ivanov A.A.* Axially symmetric magnetic mirror traps. Recent progress in plasma confinement and heating. // *ВАНТ, сер.: Физика плазмы*, 2009, №1(59), с.3-7.
- [235] *Ахметшин Р.Р., Григорьев Д.Н., Казанин В.Ф., Царегородцев С.М., Юдин Ю.В.* Статус торцевого ВГО-калориметра детектора КМД-3. // *ЯФ*, 2009, т.72, №3, с.512-517.

- [236] *Dikansky N.S., Pestrikov D.V.* Effect of the crab waist and of the micro-beta on the beam-beam instability. // NIM A, 2009, v.600, №3, p.538-544.
- [237] *Bashkanov M., Celsius, ..., Shwartz E.A., et al. (WASA Collab.)*. Double-pionic fusion of nuclear systems and the "ABC" effect: approaching a puzzle by exclusive and kinematically complete measurements. // Phys. Rev. Lett., 2009, v.102, №5, p.052301-1-5.
- [238] *Aubert B., ..., 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. (BABAR Collab.)*. Direct CP, lepton flavor, and isospin asymmetries in the decays  $B \rightarrow K^{(*)} \tau^+ \tau^-$ . // Phys. Rev. Lett., 2009, v.102, №9, p.091803-1-7.
- [239] *Кубарев В.В.* Особенности друммондова свечения окиси кальция. // Оптика и спектроскопия, 2009, т.106, N2, с.278-284.
- [240] *Dikansky N.S., Pestrikov D.V.* Compensations of beam-beam resonances using crabbing schemes at large Piwinski crossing angles. // NIM A, 2009, v.601, №3, p.251-255.
- [241] *Бондарь А.* Ускорительные процессы. С помощью мощных коллайдеров физики хотят разгадать тайну темной материи и антивещества / Беседу вел А.Красиков. // Известия. Сибирь. - 2009, №1, с.П.
- [242] *Кругляков Э.П.* Одичание. Похоже, мы все больше погружаемся в пучину средневековой дикости. Правда, нам помогают. Ощутимый вклад в это дело вносят электронные средства массовой информации. // Наука в Сибири. – 2009, №10/11, с.4,8.
- [243] *Кахута К.И., Козырев А.Н., Рубан А.А., Юдин Ю.В.* Обработка сигналов в системе "нейтрального" триггера детектора КМД-3. // ЯФ, 2009, т.72, №4, с.687-692.
- [244] *Клюев В.Ф., Пархомчук В.В., Растигеев С.А.* Перезарядная мишень на парах магния для ускорительного масс-спектрометра. // ПТЭ, 2009, №2Б с.101-104.
- [245] *Aubert B., ..., 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. (BABAR Collab.)*. Evidence for  $X(3872) \rightarrow \psi(2S)\gamma$  in  $B^{+-} \rightarrow X(3872)K^{+-}$  decays and a study of  $B \rightarrow c \text{ anti } c \gamma K$ . // Phys. Rev. Lett., 2009, v.102, №13, p.132001-1-7.
- [246] *Aubert B., ..., 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. (BABAR Collab.)*. Branching fractions and CP-violating asymmetries in radiative B decays to eta K gamma. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №1, p.011102-1-7.
- [247] *Chaschina O.I., Knyazev B.A., Kulipanov G.N., Vinokurov N.A.* Real-time speckle metrology using terahertz free electron laser radiation. // NIM A, 2009, v.603, №1, p.50-51.
- [248] *Aubert B., ..., 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. (BABAR Collab.)*. Dalitz plot analysis of  $D/sab^+ \text{, sub } s/ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №3, p. 032003-1-11.
- [249] *Aubert B., ..., 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. (BABAR Collab.)*. Measurements of time-dependent CP asymmetries in  $B^0 \rightarrow D/sab^+ \text{ (}^* \text{)}/ D/sab^+ \text{ (}^* \text{)}/$  decays. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №3, p.032002-1-13.
- [250] *Aubert B., ..., 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. (BABAR Collab.)*. Angular distributions in the decay  $B \rightarrow K^* \iota^+ \iota^-$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №3, p.031102-1-8.



- [251] *Aubert B., ..., 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. (BABAR Collab.).* Measurement of  $B \rightarrow X/\text{sub gamma/}$  decays and determination of  $|V/\text{sub td/} / V/\text{sub ts/}|$ . // *Phys. Rev. Let.*, 2009, v.102, №16, p.161803-1-7.
- [252] *Pestrikov D.V.* Effect of the long-term memory on the beam break-up instability of a single bunch in storage rings. // *NIM A*, 2009, v.603, №3, p.214-221.
- [253] *Evdokov O.V., Titov V.M., Tolochko B.P., Sharafutdinov M.R.* In situ time-resolved diffractometry at SSTRC. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.194-195.
- [254] *Kuper K.E., Zedgenizov D.A., Ragozin A.L., Shatsky V.S.* X-ray topography of natural diamonds on the VEPP-3 SR beam. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.170-173.
- [255] *Goldenberg B.G., Pindyurin V.F., Ancharova U.V., Eliseev V.S., Petrova E.V., Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Nikanorov N.Y.* Fabrication of microstructured optical elements for visible light by means of LIGA-technology. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.157-159.
- [256] *Lazareva E.V., Bryanskaya A.V., Zhmodik S.M., Kolmogorov Y.P., Pestunova O.P., Barkhutova D.D., Zolotarev K.V., Shaporenko A.D.* Elements redistribution between organic and mineral parts of microbial mats: SR-XRF research (Baikal Rift Zone). // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.137-140.
- [257] *Kolmogorov Yu.P., Mezentsev N.A., Mirinov A.G., Parkhomenko V.S., Spiridonov A.M., Shaporenko A.D., Yusupov T.S., Zhmodik S.M., Zolotarev K.V., Anoshin G.N.* Development of a complex of instrumental nuclear-physical methods to detect PGE, Re, Au, and AG in hard-to-analyze rocks and complex ores. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.131-133.
- [258] *Chepurov A.I., Sonin V.M., Surkov N.V., Tolochko B.P., Ancharov A.I., Panchenko V.E., Kosov A.V., Manokov A.Yu.* The project of experimental station of synchrotron radiation in VEPP-4M4 for research at high pressures and high temperatures on the multiple anvil apparatus BARS. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.105-107.
- [259] *Ancharov A.I., Manakov A.Yu., Likhacheva A.Yu., Shchennikov V.V., Pindyurin V.F.* Diffraction studies under high pressure performed at the Siberian Center for Synchrotron and Terahertz Radiation. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.83-89.
- [260] *Aulchenko V.M., Evdokov O.V., Kutovenko V.D., Pirogov B.Ya., Sharafutdinov M.R., Titov V.M., Tolochko B.P., Vasiljev A.V., Zhogin I.A., Zhulanov V.V.* One-coordinate X-ray detector OD-3M. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.76-79.
- [261] *Artyukov I.A., Bukreeva I.N., Chernov V.A., Feshchenko R.M., Golant K.M., Jark W., Lavrishchev S.V., Mitrofanov A.N., Popov A.V., Vinogradov A.V.* Zone plates for hard X-rays fabricated with the SPCVD technology. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.66-68.
- [262] *Aruev P.N., Kolokolnikov Yu.M., Kovalenko N.V., Legkodymov A.A., Lyakh V.V., Nikolenko A.D., Pindyurin V.F., Sukhanov V.L., Zabrodsky V.V.* Characterization of spatial homogeneity of sensitivity and radiation resistance of semiconductor detectors in the soft X-ray range. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.58-61.
- [263] *Bogomolov G.D., Zhizhin G.N., Nikitin A.K., Knyazev B.A.* Geodesic elements to control terahertz surface plasmons. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.52-55.
- [264] *Chaschina O.I., Knyazev B.A., Kulipanov G.N., Vinokurov N.A.* Real-time speckle metrology using terahertz free electron laser radiation. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.50-51.
- [265] *Shevchenko O.A., Vinokurov N.A.* Numerical solution of the FEL correlation function equation. // *NIM A*, 2009, v.603, №1/2, p.46-49.

- [266] *Shevchenko O.A., Matveenko A.N., Vinokurov N.A.* Compact ring FEL as a source of high-power infrared radiation. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p. 42-45.
- [267] *Matveenko A.N., Shevchenko O.A., Tcheskidov V.G., Vinokurov N.A.* Electron outcoupling scheme for the Novosibirsk FEL. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.38-41.
- [268] *Miginsky S.V.* Emittance compensation of elliptical beams. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.32-34.
- [269] *Miginsky S.V.* Scope of the locally cold beam model. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.28-31.
- [270] *Kubarev V.V.* Optical properties of CVD-diamond in terahertz and infrared ranges. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.22-24.
- [271] *Bondarenko A.V., Vinokurov N.A.* Beam extraction from a synchrotron through a magnetic shield. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.10-12.
- [272] *Khrushchev S.V., Lev V.K., Mezentsev N.A., Miginsky E.G., Shkaruba V.A., Tsukanov V.M.* Optimization of wigglers side poles. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.19-21.
- [273] *Belokrinitsky S., Churkin I., Oleynik A., Pekshev D., Philipchenko A., Rouvinsky S., Steshov A., Ushakov V.* Modeling and magnetic measurements of TNK synchrotron radiation source magnets. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.16-18.
- [274] *Khrushchev S.V., Lev V.K., Mezentsev N.A., Miginsky E.G., Shkaruba V.A., Syrovatin V.M., Tsukanov V.M.* 27-Pole 4.2T wiggler for biomedical imaging and therapy beamline at the Canadian light source. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.7-9.
- [275] *Antokhin E.I., Kulipanov G.N., Mezentsev N.A., Miginsky S.V., Panchenko V.E., Philipchenko A.V., Rakshun Y.V., Utkin A.V., Vinokurov N.A., Zolotarev K.V.* The project of a new source for the Siberian Synchrotron Radiation Center. // NIM A, 2009, v.603, №1/2, p.1-3.
- [276] *Бажанова В.В., Шапоренко А.Д., Гуляева Л.Ф., Красильников С.Э., Сисакян В.Г., Кулиджанян А.П.* Анализ элементного состава доброкачественных и злокачественных опухолей матки в сопоставлении с клиническими характеристиками. // Поверхность, 2009, №6, с.44-48.
- [277] *Хильченко А.Д., Квашинин А.Н., Иваненко С.В., Зубарев П.В., Моисеев Д.В., Коваленко Ю.В.* Измерительный комплекс дисперсионного интерферометра на основе CO<sub>2</sub>-лазера. // ПТЭ, 2009, №3, с.78-90
- [278] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Measurement of time dependent CP asymmetry parameters in  $B^0$  meson decays to omega  $K^0$ ,  $\eta'K^0$ , and  $\pi^0K^0$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №5, p.052003-1-16.
- [279] *Aubert B., ..., 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. (BABAR Collab.).* Measurement of the  $B^+ \rightarrow \omega \iota^+ \nu$  and  $B^+ \rightarrow \eta \iota^+ \nu$  branching fractions. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №5, p.052011-1-9.
- [280] *Кругляков Э.П.* Современная лженаука - порождение невежества и коррупцию // В защиту науки: бюл. / РАН. Комис. по борьбе с лженаукой и фальсификацией науч. исслед.; отв. ред.Э.П.Кругляков. - М.: Наука, 2009, №5, с.37-45.
- [281] *Уницын А.С., Вагин М.С., Петров А.К., Козлов А.С., Малышкин С.Б., Попик В.М., Пельтек С.Е.* Исследование дисперсного состава продуктов лазерной субмиллиметровой абляции неорганических наносистем. // Вестник НГУ. - Сер.: Физика, 2009, т.4, №2, с.8-12.

- [282] *Бондаренко А.В., Винокуров Н.А., Мигинский С.В.* Выпуск пучка из синхротрона через магнитный экран: магнитные измерения и расчет эффективности. // Вестник НГУ. Сер.: Физика. – 2009, т.4, №26 с.40-46.
- [283] *Матвиенко Д.В.* Двухфотонное рождение векторного резонанса в  $e^+e^-$  столкновениях. // ЖЭТФ, 2009, т.136, №1(7), с.63-66.
- [284] *Наумова Е.В., Принц В.Я., Голод С.В., Селезнев В.А., Сейфи В.А., Булдыгин А.Ф., Кубарев В.В.* Киральные метаматериалы терагерцового диапазона на основе спиралей из металл-полупроводниковых нанопленок. // Автометрия, 2009, т.45, №4, с.12-22.
- [285] *Галкин П.С., Игуменов И.К., Климов А.Э., Кубарев В.В., Неизвестный И.Г., Пащин Н.С., Чесноков Е.Н., Шумский В.Н.* Разработка элементов системы регистрации изображений в терагерцовой области спектра на основе пленок  $PbSnTe:In$ . // Автометрия, 2009, т.45, №4, с.85-94.
- [286] *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Constraints on the CKM angle  $\gamma$  in  $B^0 \rightarrow \text{anti } D^0 K^{*0}$  and  $B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$  from a Dalitz analysis of  $D^0$  and  $\text{anti } D^0$  decays to  $K/\text{sub } s/\pi^+\pi^-$ . // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №7, p.072003-1-10.
- [287] *Aubert B., ..., 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. (BABAR Collab.).* Search for the  $Z(4430)^-$  at BaBar. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №11, p.112001-1-38.
- [288] *Волосов В.И.* МГД-устойчивость горячей вращающейся плазмы - эксперимент ПСП-2 (краткий обзор). // ФП, 2009, т.35, №9, с.782-797.
- [289] *Avilov M.S., Bermudez J., Tecchio L.B.* Design of the 50 kW neutron converter for SPIRAL-2 facility. // Legnaro: INFN, Lab. Naz.di Legnaro, 2009, p.245-246.
- [290] *Avilov M.S., Bermudez J., Tecchio L.B.* Thermo-mechanical simulation of neutron production target for SPIRAL-2. // INFN, Lab. Naz.di Legnaro, 2009, p.247-248.
- [291] *Zhmurikov E.I., Bermudez J., Gubin K.V., Kot N.H., Logatchov P.V., Tsybulya S.V., Titov A.T., Tecchio L.B.* Material selection for the SPIRAL2 neutron converter. // INFN, Lab. Naz. di Legnaro, 2009, p.249-250.
- [292] *Винокуров Н.А., Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Князев Б.А., Кулипанов Г.Н., Чащина О.И., Черкасский В.С.* Спекл-структура изображений объектов, освещаемых монохроматическим когерентным терагерцевым излучением. // Квантовая электроника, 2009, т.39, №5, с.481-486.
- [293] *Кругляков Э.* Ученые с большой дороги / беседа вел В.Рогачев. // Эхо планеты, 2009, №14 (10-16 апр.), с.32-35.
- [294] *Bagryansky P.A., Ivanov A.A., Kruglyakov E.P., Kudryavtsev A.M., Tsidulko Yu.A., Andriyash A.V., Lukin A.L., Zouev Yu.N.* Gas dynamic trap as high power 14 MeV neutron source. // Fusion Engineering and Design, 2009, v.70, №1, p.13-33.
- [295] *Aubert B., ..., 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., t al. (BABAR Collab.).* Measurements of the semileptonic decays  $\text{anti } B \rightarrow D \text{ iota anti nu}$  final states. // Phys. Rev. D, 2009, v.79, №1, p. 012002-1-20.
- [296] *Эйдельман Ю.* Энциклопедия ИЯФ. // Энергия-Импульс, 2009, №3/4, с.4-5.
- [297] *Пархомчук В.В.* На пути познания природы: к 50-летию НГУ. // Энергия-Импульс,

- 2009, №10, с.3.
- [298] Диканский Н.С. От студента до ректора: к 50-летию НГУ. // Энергия –Импульс, 2009, №10, с.4-6.
- [299] Дубров С. Локальные сети в ИЯФе в эпоху до Ethernet. // Энергия-Импульс, 2009, №5/6, с.6-7.
- [300] Левичев Е.Б. Ускорители для онкологических клиник-1 / беседу вела Г.Шпак. // Наука в Сибири, 2009, №26, 2 июля, с.8.
- [301] Барков Л.М., Блинов В.Е., Бондарь А.Е., Мишнев С.И., Середняков С.И., Скринский А.Н., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тумайкин Г.М. Экспериментатор и учитель с большой буквы: к 75-летию профессора А.П. Онучина. // Наука в Сибири, 2009, №39, 1 октября, с.7.
- [302] Вагин М.С., Уницын А.С., Петров А.К., Козлов А.С., Мальшикин С.Б., Попик В.М., Горячкова Т.Н., Пельтек С.Е. Исследование возможности определения масс биологических нанообъектов методом терагерцовой лазерной абляции. // Вестник НГУ. Сер.: Физика, 2009, т.4, №3, с.74-77.
- [303] Бондаренко А.В., Винокуров Н.А., Мигинский С.В. Схема экстракции пучка для бустера Новосибирского источника синхротронного излучения. // Вестник НГУ. - Сер.: Физика. – 2009, т.4, №1, с.43-46.
- [304] Logashenko I.B. Low energy  $e+e- \rightarrow$  hadrons in Novosibirsk. // Nucl. Phys. B, 2009, v.189, p.239-244.
- [305] Grancagnolo F., Fiore G., Ignatov F.V., Karavdina A.V., Khazin B.I., Miccoli A., Pivovarov S.G., Popov A.S., Ruban A.A., Sibidanov A.L., Snopkov I.G. Drift chamber for the CMD-3 detector. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.105-106.
- [306] Berlev A.I., Danilyuk A.F., Karavicheva T.L., Karpechev E.V., Kirillov V.L., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Kupchinskiy Yu.V., Kurepin A.B., Kurepin A.N., Maevskaya A.I., Musienko Yu.V., Onuchin A.P., Razin V.I., Reshetin A.I., Finogeev D.A. Development of FARICH-detector for ALICE experiment at CERN. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.156-159.
- [307] Drozhzhin D.A., Fedotov G.V., Kazanin V.F., Khazin B.I., Nikulin M.A., Popov A.S., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Vidyuk S.N. Current status of the CMD-3 time-of-flight system. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.203-204.
- [308] Anisyonkov A.V., Barkov L.M., Bashtovoy N.S., Grebenuk A.A., Khazin B.I., Kravchenko E.V., Pestov Yu.N., Priyemenko L.A., Stepanov P.Yu., Zverev S.G. Liquid xenon calorimeter for a CMD-3 detector. // NIM A, 2009, v.598, №1, p.266-267.
- [309] Ruban A., Aulchenko A., Kakhuta K., Kozyrev A., Selivanov A., Titov V., Yudin Yu. The CMD-3 data acquisition and control system. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.317-322.
- [310] Kakhuta K.I., Yudin Yu.V. Signal processing module for the liquid xenon calorimeter of CMD-3 detector. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.342-344.
- [311] Kozyrev A.N., Ruban A.A., Yudin Yu.V. Signal processing in the calorimeter pre-trigger of the CMD-3 detector. // NIM A, 2009, v.598, N1, p.345-348.
- [312] Макарова В. Заседает Президиум СО РАН. // Наука в Сибири, 2009, №18, с.3-4.
- [313] Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Овсяк В.Н., Фомин Б.И., Асеев А.Л., Князев Б.А., Кулипанов Г.Н., Винокуров Н.А. Матричные микроболометрические приемники для инфракрасного и терагерцового диапазонов. // Оптический журнал, 2009, т.76, вып.12, с.5-11.

## ДОКЛАДЫ НА КОНФЕРЕНЦИЯХ

- [314] *Glukhov S., Levichev E., Meshkov O., Nikitin S., Nikolaev I., Piminov P., Zhuravlev A.* Study of beam dynamics during the crossing of the third-order resonance at VEPP-4M. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada.
- [315] *Blinov V., Bogomyagkov A., Karpov G., Kiselev V., Levichev E., Nikitin S., Nikolaev I., E. Shubin, Tumaikin G., Meshkov O., Zhuravlev A., Kurkin G., Osipov V., Petrov V.M., Rotov E., Krutikhin S., Motygin S., Karnaev S., Smaluk V.* Accelerator physics activity at the VEPP-4M collider. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada.
- [316] *Popov V., Mikhailov S., Wallace P. (FEL Lab, Duke University, USA), Anchugov O., Matveev Yu., Shvedov D. (BINP SB RAS, Novosibirsk, Russia).* Cold cathode thyratron based high-voltage kicker system for the Duke accelerators: performance and improvements. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada.
- [317] *Барков Л.М., Гаузштейн В.В., Дмитриев В.Ф., Зеваков С.А., Лазаренко Б.А., Логинов А.Ю., Мишнев С.И., Николенко Д.М., Осипов А.В., Сидоров А.А., Стибунов В.Н., Рачек И.А., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В.* Исследование фотообразования пионов на тензорно поляризованных дейтронах. // Тез. докл. 59-го Межд. совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ядро 2009), 15-19 июня 2009, Чебоксары. - с.50.
- [318] *Барков Л.М., Гаузштейн В.В., Дмитриев В.Ф., Лазаренко Б.А., Логинов А.Ю., Мишнев С.И., Николенко Д.М., Осипов А.В., Сидоров А.А., Стибунов В.Н., Рачек И.А., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В., Зеваков С.А.* Тензорная асимметрия в реакции фотообразования  $\rho^0$ -мезонов на поляризованных дейтронах. // Тез. докл. 59-го Межд. совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ядро 2009), 15-19 июня 2009, Чебоксары. - с.154.
- [319] *Wittmer W., Donald M.H., Nosochkov Y., Wienands U., Yocky G. (SLAC, USA); Biagini M.E., Raimondi P. (INFN/LNF, Frascati, Italy); Bogomyagkov A.V., Koop I., Nikitin S.A. (BINP SB RAS, Novosibirsk).* Polarized beams in the SuperB high energy ring. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada.
- [320] *Piminov P.A., Bogomyagkov A.V., Levichev E.B., (BINP SB RAS, Novosibirsk); Biagini M.E., Raimondi P., Zobov M. (INFN/LNF, Frascati, Italy).* Super-B LER Dynamic aperture study and optimization. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada.
- [321] *Zobov M., Milardi C., Raimondi P., Levichev E., Piminov P., Shatilov D., Ohmi K.* Crab waist collision scheme: numerical simulations versus experimental results. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada.
- [322] *Batrakov A., Blinov M., Boter E., Einfeld D., Gurov S., Levichev A., Levichev E., Martyshkin P., Okunev I Petrov V., Pont M., Rouvinski S., Rybitskaya T., Semenov A., Sukhanov A., Vobly P.* ALBA storage ring quadrupoles and sextupoles manufacturing and measurements. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada.
- [323] *Biagini M.E., Boni R., Boscolo M., Demma T., Drago A., Guiducci S., Raimondi P., Tomassini S., Zobov M., Bertsche K., Donald M., Nosochov Y., Novokhatski A., Seeman J., Sullivan M., Yocky G., Wienands U., Wittmer W., Koop I., Levichev E., Nikitin S., Piminov P., Shatilov D., Ohmi K., Paoloni E., Bettoni S., Quattraro D.* SuperB project overview. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada.

- [324] *Levichev E., Piminov P., Shatilov D.* Nonlinear beam dynamics with strong damping and space charge in the CLIC damping ring. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada.
- [325] *Milardi A., Alesini D., ..., Levichev E., et al.* Experience with DAFNE upgrade including Crab Waist. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada.
- [326] *Bogomyagkov A., Levichev E., Piminov P.* Nonlinear optics of the final focus for a collider with crab waist. // The 2nd Workshop on Nonlinear Beam Dynamics in Storage Rings, November 2-4, 2009, Diamond Light Source, Oxford, Great Britain.
- [327] *Piminov P.A., Levichev E.B.* Acceleraticum: computer code for tracking of charge particles in storage rings. // Proc. of Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada. - FR5PFP068.
- [328] *Жуков А.А., Краснов А.А., Семенов А.М.* Установка магнетронного напыления геттерных покрытий в узкоапертурных камерах. // Мат. IV Междун. научно-технической конференции. - Москва: КВЦ «Сокольники», 18-20 марта 2009.
- [329] *Zaytsev A.S., et al.* System administration of ATLAS TDAQ computing environment. // The 17th Intern. Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP 2009), Prague, 21-27 March, 2009 (poster presentation, accepted for publication in Journal of Physics: Conference Series).
- [330] *Tikhonov Yu., ..., et al. (on behalf of the ATLAS Liquid Argon HighLum group).* Operation of the ATLAS end-cap calorimeters at sLHC luminosities: An experimental study. // The 11th Pisa Meeting on Advanced Detectors, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, May 24 - 30, 2009.
- [331] *Talyshev A., ..., et al. (on behalf of the ATLAS Liquid Argon HighLum group).* Commissioning of the ATLAS liquid argon calorimeter. // XXII Intern.l Symposium on Nuclear Electronics & Computing (NEC 2009), Bulgaria, Varna, 7 - 14 September, 2009.
- [332] *Anisenkov A., Krivashin D.* ATLAS distributed computing. // XXII Intern. Symposium on Nuclear Electronics & Computing (NEC 2009), Bulgaria, Varna, 7 - 14 September, 2009.
- [333] *V.I. Telnov.* Photon collider technology overview. // Invited talk at Photon09, DESY, Hamburg, May 11-15, 2009. - arXiv:0908.3136 [physics.acc-ph].
- [334] *V.I. Telnov.* Calibration of energy at the photon collider. // Talk at TILC09, Tsukuba, Japan, April 17-21, 2009. - <http://ilcagenda.linearcollider.org/getFile.py/access?contribId=174&sessionId=21&resId=1&materialId=slides&confId=3154>.
- [335] *V.I. Telnov.* Introduction to the discussion on physics case of the PLC as the first stage of ILC. // Talk at TILC09, Tsukuba, Japan, April 17-21, 2009. - <http://ilcagenda.linearcollider.org/getFile.py/access?contribId=172&sessionId=21&resId=0&materialId=slides&confId=3154>.
- [336] *V.I. Telnov.* Gamma-Gamma summary. // Plenary talk at TILC09, Tsukuba, Japan, April 17-21, 2009. - <http://ilcagenda.linearcollider.org/getFile.py/access?contribId=46&sessionId=4&resId=1&materialId=slides&confId=3154>.
- [337] *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 G.V., 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., 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. // Proc. of 6th Intern. Workshop on  $e^+e^-$  collisions from  $\phi$  to  $\psi$  (PHIPSI09), 13-16 October, 2009, Institute of High Energy Physics, Beijing, China. - To be published in Chinese Physics C.
- [338] *Malyshev V.M., 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 G.V., 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., 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  $J/\psi \rightarrow \eta_c + \gamma$  at KEDR. // Proc. of 6th Intern. Workshop on  $e^+e^-$  collisions from  $\phi$  to  $\psi$  (PHIPSI09), 13-16 October, 2009, Institute of High Energy Physics, Beijing, China. - To be published in Chinese Physics C.
- [339] *Blinov A.E., 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 V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bogomyagkov A.V., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Eidelman S.I., Glukhovchenko Yu.M., Gulevich V.V., Gusev D.V., Karnaev S.E., Karpov G.V., Karpov S.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kononov S.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kulikov V.F., 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.* Recent results from the KEDR detector. // Proc. of 6th Intern. Workshop on  $e^+e^-$  collisions from  $\phi$  to  $\psi$  (PHIPSI09), 13-16 October, 2009, Institute of High Energy Physics, Beijing, China. - To be published in Chinese Physics C.
- [340] *Eidelman S.I., 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., Glukhovchenko Yu.M., Gulevich V.V., Gusev D.V., Karnaev S.E., Karpov G.V., Karpov S.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kononov S.A., Kotov K.Yu., Kravchenko E.A., Kulikov V.F., 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., Sandryev V.K., Savinov G.A., Shatov 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.* Recent results from the KEDR detector. // Europhysics Conference on High Energy Physics (EPC2009), 16 - 22 July 2009, Krakow, Poland.
- [341] *Eidelman S.I.* Tau lepton decays. // 6th Intern. Workshop on  $e^+e^-$  collisions from  $\phi$  to  $\psi$  (PHIPSI09), 13-16 October, 2009, Institute of High Energy Physics, Beijing, China.
- [342] *Tikhonov A.* Machines and detectors at BINP, Novosibirsk. // 6th Intern. Workshop on  $e^+e^-$  collisions from  $\phi$  to  $\psi$  (PHIPSI09), 13-16 October, 2009, Institute of High Energy Physics, Beijing, China.
- [343] *Shwartz B.A.* Electroweak physics at low energy. // XXIV Intern. Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies, 16-22 August, 2009, Hamburg, Germany.
- [344] *Блинов В.Е., Анашин В.В., Аульченко В.М., Балдин Е.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бару С.Е., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Богомяжков А.В., Бондарь А.Е., Бондарев Д.В., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Глуховченко Ю.М., Жилич В.Н., Журавлев А.Н., Карнаев С.Е., Карпов Г.В., Карпов С.В., Киселев В.А., Козлова Т.А., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Куликов В.Ф., Куркин Г.Ю., Купер Е.А., Левичев Е.Б., Максимов Д.А., Малышев В.М., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мешков О.И., Мишнев С.И., Морозов И.И., Мучной Н.Ю., Нейфельд В.В., Никитин С.А., Николаев И.Б., Окунев И.Н., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Петров В.В., Петросян С.С., Пивоваров С.Г., Пиминов П.А., Полуэктов А.О., Попков И.Н., Поспелов Г.Е., Присекин В., Рубан А.А., Савинов Г.А., Сандырев В.К., Симонов Е.А., Синяткин С.В., Сквепень Ю.И., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Старостина Е.В., Стручалин М.В., Сухарев А.М., Талышев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю., Тумайкин Г.М., Усов Ю.В., Цыганков Д.А., Черепанов В.П., Шамоу А.Г., Шатилов Д.Н., Шварц Б.А., Шубин Е.И., Эйдельман С.И., Юшков А.Н.* Обзор результатов с детектора КЕДР. // Научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 23-27 ноября 2009, ИТЭФ, Москва.
- [345] *Балдин Е.М., Анашин В.В., Аульченко В.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бару С.Е., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Блинов В.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Богомяжков А.В., Бондарь А.Е., Бондарев Д.В., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Глуховченко Ю.М., Жилич В.Н., Журавлев А.Н., Карнаев С.Е., Карпов Г.В., Карпов С.В., Киселев В.А., Козлова Т.А., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Куликов В.Ф., Куркин Г.Ю., Купер Е.А., Левичев Е.Б., Максимов Д.А., Малышев В.М., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мешков О.И., Мишнев С.И., Морозов И.И., Мучной Н.Ю., Нейфельд В.В., Никитин С.А., Николаев И.Б., Окунев И.Н., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Петров В.В., Петросян С.С., Пивоваров С.Г., Пиминов П.А., Полуэктов А.О., Попков И.Н., Поспелов Г.Е., Присекин В., Рубан А.А., Савинов Г.А., Сандырев В.К., Симонов Е.А., Синяткин С.В., Сквепень Ю.И., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Старостина Е.В., Стручалин М.В., Сухарев А.М., Талышев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю., Тумайкин Г.М., Усов Ю.В., Цыганков Д.А., Черепанов В.П., Шамоу А.Г., Шатилов Д.Н., Шварц Б.А., Шубин Е.И., Эйдельман С.И., Юшков А.Н.* Измерение  $\Gamma_{e^+e^-} \mathcal{B}_{ee}$  и  $\Gamma_{e^+e^-} \mathcal{B}_{\mu\mu}$  для  $J/\psi$  мезона. // Научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 23-27 ноября 2009, ИТЭФ, Москва.



- [346] Блинов А.Е., Анашин В.В., Аульченко В.М., Балдин Е.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бару С.Е., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов В.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Богомягков А.В., Бондарь А.Е., Бондарев Д.В., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Глуховченко Ю.М., Жилич В.Н., Журавлев А.Н., Карнаев С.Е., Карпов Г.В., Карпов С.В., Киселев В.А., Козлова Т.А., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Куликов В.Ф., Куркин Г.Ю., Купер Е.А., Левичев Е.Б., Максимов Д.А., Малышев В.М., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мешков О.И., Мишнев С.И., Морозов И.И., Мучной Н.Ю., Нейфельд В.В., Никитин С.А., Николаев И.Б., Окунев И.Н., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Петров В.В., Петросян С.С., Пивоваров С.Г., Пиминов П.А., Полуэктов А.О., Попков И.Н., Поспелов Г.Е., Присекин В., Рубан А.А., Савинов Г.А., Сандырев В.К., Симонов Е.А., Синяткин С.В., Сквонень Ю.И., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Старостина Е.В., Стручалин М.В., Сухарев А.М., Тальшиев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю., Тумайкин Г.М., Усов Ю.В., Цыганков Д.А., Черепанов В.П., Шамоу А.Г., Шатилов Д.Н., Шварц Б.А., Шубин Е.И., Эйдельман С.И., Юшков А.Н. Поиск узких резонансов в области  $2E=1.85-3.1$  ГэВ. // Научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 23-27 ноября 2009, ИТЭФ, Москва.
- [347] Малышев В.М., Анашин В.В., Аульченко В.М., Балдин Е.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бару С.Е., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Блинов В.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Богомягков А.В., Бондарь А.Е., Бондарев Д.В., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Глуховченко Ю.М., Жилич В.Н., Журавлев А.Н., Карнаев С.Е., Карпов Г.В., Карпов С.В., Киселев В.А., Козлова Т.А., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Куликов В.Ф., Куркин Г.Ю., Купер Е.А., Левичев Е.Б., Максимов Д.А., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мешков О.И., Мишнев С.И., Морозов И.И., Мучной Н.Ю., Нейфельд В.В., Никитин С.А., Николаев И.Б., Окунев И.Н., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Петров В.В., Петросян С.С., Пивоваров С.Г., Пиминов П.А., Полуэктов А.О., Попков И.Н., Поспелов Г.Е., Присекин В., Рубан А.А., Савинов Г.А., Сандырев В.К., Симонов Е.А., Синяткин С.В., Сквонень Ю.И., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Старостина Е.В., Стручалин М.В., Сухарев А.М., Тальшиев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю., Тумайкин Г.М., Усов Ю.В., Цыганков Д.А., Черепанов В.Р., Шамоу А.Г., Шатилов Д.Н., Шварц Б.А., Шубин Е.И., Эйдельман С.И., Юшков А.Н. Измерение  $\text{Br}(\psi \rightarrow \gamma\eta_c)$ . // Научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 23-27 ноября 2009, ИТЭФ, Москва.
- [348] Тодышев К.Ю., Анашин В.В., Аульченко В.М., Балдин Е.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бару С.Е., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Блинов В.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Богомягков А.В., Бондарь А.Е., Бондарев Д.В., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Глуховченко Ю.М., Жилич В.Н., Журавлев А.Н., Карнаев С.Е., Карпов Г.В., Карпов С.В., Киселев В.А., Козлова Т.А., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Куликов В.Ф., Куркин Г.Ю., Купер Е.А., Левичев Е.Б., Максимов Д.А., Малышев В.М., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мешков О.И., Мишнев С.И., Морозов И.И., Мучной Н.Ю., Нейфельд В.В., Никитин С.А., Николаев И.Б., Окунев И.Н., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Петров В.В., Петросян С.С., Пивоваров С.Г., Пиминов П.А., Полуэктов А.О., Попков И.Н., Поспелов Г.Е., Присекин В., Рубан А.А., Савинов Г.А., Сандырев В.К., Симонов Е.А., Синяткин С.В., Сквонень Ю.И., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Старостина Е.В., Стручалин М.В., Сухарев А.М., Тальшиев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тумайкин Г.М., Усов Ю.В., Цыганков Д.А., Черепанов В.П., Шамоу А.Г., Шатилов Д.Н., Шварц Б.А., Шубин Е.И., Эйдельман С.И., Юшков А.Н. Измерение массы, полной ширины и лептонной ширины  $\psi(3770)$ . // Научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН

- "Физика фундаментальных взаимодействий", 23-27 ноября 2009, ИТЭФ, Москва.
- [349] Жилич В.Н., Анашин В.В., Аульченко В.М., Балдин Е.М., Барладян А.К., Барняков А.Ю., Барняков М.Ю., Бару С.Е., Бедный И.В., Белобородова О.Л., Блинов А.Е., Блинов В.Е., Бобров А.В., Бобровников В.С., Богомягков А.В., Бондарь А.Е., Бондарев Д.В., Бузыкаев А.Р., Воробьев А.И., Гулевич В.В., Глуховченко Ю.М., Журавлев А.Н., Карнаев С.Е., Карпов Г.В., Карпов С.В., Киселев В.А., Козлова Т.А., Кононов С.А., Котов К.Ю., Кравченко Е.А., Куликов В.Ф., Куркин Г.Ю., Купер Е.А., Левичев Е.Б., Максимов Д.А., Малышев В.М., Масленников А.Л., Медведко А.С., Мешков О.И., Мишнев С.И., Морозов И.И., Мучной Н.Ю., Нейфельд В.В., Никитин С.А., Николаев И.Б., Окунев И.Н., Онучин А.П., Орешкин С.Б., Орлов И.О., Осипов А.А., Пелеганчук С.В., Петров В.В., Петросян С.С., Пивоваров С.Г., Пиминов П.А., Полуэктов А.О., Попков И.Н., Поспелов Г.Е., Присекин В., Рубан А.А., Савинов Г.А., Сандырев В.К., Симонов Е.А., Синяткин С.В., Сквепень Ю.И., Скринский А.Н., Смалюк В.В., Старостина Е.В., Стручалин М.В., Сухарев А.М., Тальшев А.А., Таюрский В.А., Тельнов В.И., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю., Тумайкин Г.М., Усов Ю.В., Цыганков Д.А., Черепанов В.П., Шамов А.Г., Шатилов Д.Н., Шварц Б.А., Шубин Е.И., Эйдельман С.И., Юшков А.Н. Статус системы регистрации рассеянных электронов для изучения двухфотонных процессов на детекторе КЕДР. // Научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий", 23-27 ноября 2009, ИТЭФ, Москва.
- [350] *Ada J., ..., Grigoriev D.N., et al (MEG collaboration)*. A limit for the  $\mu \rightarrow e\gamma$  decay from the MEG experiment. // Proc. of the XXIV Intern. Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies (LP09), 17-22 August, 2009, Hamburg, Germany, p.7. - E-print: arXiv:0908.2594 [hep-ex].
- [351] *Grigoriev D., ..., et al*. Incidental radioactive background in BGO crystals. // Proc. of the 1st Intern. Workshop: Radiopure Scintillators for EURECA (RPScint'2008), 9-10 September 2008, Kiev. Published Kiev-2009, p.45-49. - E-print: arXiv:0903.1539 [nucl-ex].
- [352] *Buzulutskov A*. Further studies of two-phase avalanche detectors: electron emission and gamma-ray detection properties. // Talk at the 1st Intern. Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics, March 11-17, 2009, Tsukuba, Japan.
- [353] *Tecchio L., Alyakrinskiy O., et al*. Task 4 detailed final report. // Eurisol-ds report 01-31-2009-0024.
- [354] *Жмуриков Е.И., Губин К.В., Кот Н.Х., Логачев П.В., Цыбуля С.В., Титов А.Т., Tecchio Luigi*. Сравнительные характеристики мелкозернистых плотных графитов для конвертора нейтронной мишени. // Междун. семинар: Структурные основы модификации материалов методами нетрадиционных технологий (МНТ-Х), Обнинск, 16-19 июня 2009. - Тез. докл. - Обнинск: ИАТЭ, 2009. - с.83.
- [355] *Жмуриков Е.И.* Графитовые композиты для конвертора нейтронной мишени. // 7-ой Сибирский семинар по сверхпроводимости и смежным проблемам (ОКНО-2009), 16-17 сентября 2009, Новосибирск (выступление с пленарным докладом).
- [356] *Parkhomchuk V.V., Panasyuk V.M., Reva V.B., Bublely A.V.* Electron cooling for the therapy acceleration complex. // COOL 09, Lanzou, August 31- September 4, 2009, FRM1MCIO01. - 5 p.
- [357] *Bryzgunov M.I., Panasyuk V.M., Reva V.B.* Calculations of electron beam motion in Electron Cooling System for COSY. // COOL 09, Lanzou, August 31- September 4, 2009, THPMCP004. - 4 p.
- [358] *Dietrich J., Kamerdzhev V. (FZJ, Jülich), 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. // COOL 09, Lanzou, August 31- September 4, 2009, FRM1MCIO03. - 3 p.
- [359] *Volkov V.* (BINP SB RAS, Novosibirsk), *Knobloch J., Matveenko A.N.* (Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Elektronen-Speicherring BESSY II, Berlin). Beam breakup instability suppression in multi cell SRF guns. // Proc. of the 14<sup>th</sup> Intern. Conference on RF Superconductivity (SRF2009), 20-25 September, 2009, Germany, Berlin, p.876.
- [360] *Volkov V.* (BINP SB RAS, Novosibirsk), *Knobloch J., Matveenko A.N.* (Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Elektronen-Speicherring BESSY II, Berlin). Dipole high order mode analysis in FZD like SRF guns. // Proc. of the 14<sup>th</sup> Intern. Conference on RF Superconductivity (SRF2009), 20-25 September, 2009, Germany, Berlin, p.880.
- [361] *Vinokurov N., Dementyev E.N., Dovzhenko B., Getmanov Y.V., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Medvedev L.E., Miginsky S.V., Mironenko L., Ovchar 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., Vobly P., Zaigraeva N.S., Matveenko A.N.* Novosibirsk free electron laser facility: two-orbit ERL operation with two FELs. // Proc. of the 31st Free Electron Laser Conference (FEL 2009), 23-28 August, 2009, UK, Liverpool, p.447.
- [362] *Volkov V., Krutikhin S.A., Kurkin G.Y., Miginsky S.V., Petrov V.M., Tiunov M.A., Vinokurov N.* Thermionic RF gun simulations for L-band FEL injectors. // Proc. of the 31st Free Electron Laser Conference (FEL 2009), 23-28 August, 2009, UK, Liverpool, p.428.
- [363] *Medvedko A.S., Berkaev D.E., Belikov O.V., Shatunov P.Yu., Kozak V.R.* System of power supply ripples measurement for VEPP-2000 collider. // Proc. of XII Intern. Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2009), 12-16 October, 2009, Japan, Kobe, TUP031.
- [364] *Kasaev A.S., Stankevich A.S., Berkaev D.E., Podgorny F.V., Belikov O.V., Cheblakov P.B., Kozak V.R.* Control system for injection channels of VEPP-2000 collider. // Proc. of XII Intern. Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2009), 12-16 October, 2009, Japan, Kobe, THP027.
- [365] *Berkaev D.E., Bykov E.V., Ostanin I.A., Cherepanov V.P., Kozak V.R., Repkov V.V.* Beam measurement system of VEPP-2000 injection channels. // Proc. of XII Intern. Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2009), 12-16 October, 2009, Japan, Kobe, TUP032.
- [366] *Kirpotin A.N., Lysenko A.P., Medvedko A.S., Berkaev D.E., Kuper E.A., Koop I., Cheblakov P.B., Shatunov P.Yu., Kozak V.R., Shatunov Y.M., Rogovsky Yu.A.* VEPP-2000 collider control system. // Proc. of XII Intern. Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2009), 12-16 October, 2009, Japan, Kobe, THP028.
- [367] *Auslender V.L., Bryazgin A.A., Chernov K.N., Cheskidov V.G., Factorovich B.L., Gorbunov V.A., Gornakov I.V., Kuznetsov G.I., Makarov I.G., Matyash N.V., Ostreiko G.N., Panfilov A.D., Serdobintsev G.V., Tarnetsky V.V., Tiunov M.A., Tuvik A.A.* 100 kV modular linear accelerator for industrial applications with electron energy of 7.5...10 MeV. // Proc. of XXI Intern. Workshop on Charged Particle Accelerators, 6-12 September, 2009, Ukraine, Alushta, p.19.
- [368] *Ауслендер В.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., Тувик А.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. // Тез. XXI Международного семинара по ускорителям заряженных частиц, 6-12 сентября 2009, Украина, Алушта, с.19.
- [369] *Ivanov A.V., Serdobintsev G.V., Tiunov M.A.* Hollow electron beam formation for injection in linear accelerator of SR complex of Kurchatov Institute. // Proc. of XXI International Workshop on Charged Particle Accelerators, 6-12 September, 2009, Ukraine, Alushta, p.79.
- [370] *Иванов А.В., Сердобинцев Г.В., Тиунов М.А.* Формирование полого пучка для инъекции в линейный ускоритель комплекса СИ в Курчатовском Институте. // Тезисы XXI Международного семинара по ускорителям заряженных частиц, 6-12 сентября, 2009, Украина, Алушта, с.79.
- [371] *Sorokin I, Belov V., Davydenko V., Deichuli P., Ivanov A., Podyminogin A., Shikhovtsev I., Shulzhenko G., Stupishin N., Tiunov M.* Characterization of 1MW, 40keV, 1s neutral beam for plasma heating. // Proc. of the 13th Intern. Conference on Ion Sources (ICIS'09), 20-25 September, 2009, USA, Gatlinburg, Tennessee, p.126.
- [372] *Lotov K.* Simulations of proton driven plasma wakefield acceleration. // Laser Plasma Accelerator Workshop, 2009, Kardamili, Greece. - Abstracts, 2009, p.68.
- [373] *Lotov K., Maslov V., Onishchenko I., Svistun E.* Resonant excitation of plasma wakefields by a nonresonant train of short electron bunches. // Laser Plasma Accelerator Workshop, 2009 Kardamili, Greece. - Abstracts, 2009, p.69.
- [374] *Timofeev I.V., Lotov K.V., and Terekhov A.V.* Direct computation of the growth rate for the instability of a warm relativistic electron beam in a cold magnetized plasma. // Proc. of 36th EPS Conference on Plasma Physics, Sofia, Bulgaria, 2009. - ECA, v.33E, p.P-1.015.
- [375] *Лотов К.В., Маслов В.И., Онищенко И.Н., Свистун Е.Н.* Численное моделирование возбуждения кильватерного поля в плазме длинной последовательностью коротких сгустков релятивистских электронов. // Тез. XXXVI Междунар. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.136.
- [376] *Калдвелл А., Лотов К.В., Пухов А., Симон Ф.* Плазменное кильватерное ускорение с протонным драйвером. // Тез. XXXVI Междунар. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.281.
- [377] *Лотов К.В., Терехов А.В., Тимофеев И.В.* Прямое вычисление инкрементов неустойчивости теплового релятивистского электронного пучка в холодной замагниченной плазме. // Тез. XXXVI Междунар. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.282.
- [378] *Caldwell A., Simon F., Xia G.X., Lotov K.V., Pukhov A.M.* Preliminary study of proton driven plasma wakefield acceleration. // Particle Accelerator Conference (PAC09), 4-8 May, 2009, Vancouver, Canada. - Abstracts, 2009, p.589.
- [379] *Xia G., Caldwell A., Lotov K., Pukhov A., Simon F.* Proton driven plasma wakefield acceleration. // Laser Plasma Accelerator Workshop, 2009, Kardamili, Greece. - Abstracts, 2009, p.62.
- [380] *Lotov K.* Acceleration of positrons in the blow-out regime. // Laser Plasma Accelerator Workshop, 2009, Kardamili, Greece. - Abstracts, 2009, p.67.
- [381] *Беклемишев А.Д., Чащин М.С.* Вихревое удержание плазмы в открытых ловушках. // Тез. докл. XXXVI Междунар. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.40.

- [382] Сковородин Д., Беклемишев А. Расчёт продольных потерь плазмы из многопробочной ловушки. // Тез. докл. XXXVI Междун. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2009. - с.80.
- [383] Beklemishev A., Bagryansky P., Maksimov V., Skovorodin D., Prikhodko V. GDT team, Anomalous ambipolar trapping at intermediate collision frequencies. // 51st Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, November 2-6, 2009, Atlanta, GA. - Bulletin Am. Phys. Soc., 2009, v.54, p.321.
- [384] Beklemishev A., Bagryansky P., Chaschin M., Soldatkina E. Vortex confinement of plasmas in axially symmetric mirrors. 51st Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, November 2-6, 2009, Atlanta, GA. - Bulletin Am. Phys. Soc., 2009, v.54, p.88.
- [385] Listopad A., Coenen J.W., Schweer B., Davydenko V., Ivanov A. Diagnostics for optical measurements of RUDI neutral beam parameters. // In abstracts of the Annual DPG Conference, Greifswald, Germany, March 30 - April 2, 2009. - <http://www.dpg-verhandlungen.de/2009/greifswald/p3.pdf>.
- [386] Fiksel Gennady, Anderson J.K., Chapman B.E., Waksman S., Abdrashitov G.F., Belov V.P., Davydenko V.I., Deichuli P.P., Ivanov A.A., Kapitonov V.A., Kolmogorov V.V., Selivanov A.N., Sorokin A.V., Stupishin N.V., Voskoboynikov R.V. High power neutral beam injection on the MST. // Abstract Submitted for 51st Annual Meeting of the Division of Plasma Physics of the American Physical Society, November 2-6, 2009, Atlanta, Georgia, USA. - Bulletin of the American Physical Society, 2009, v.54, №15, p.278.
- [387] 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. and Uhlemann R. Operation and upgrade of diagnostic neutral beam injector RUDI at TEXTOR tokamak. // The 13th Intern. Conference on Ion Sources, September 20–25, 2009, Gatlinburg, Tennessee, USA. - Book of abstracts, 2009, p.127 (to be published in Rev. Sci. Instrum.).
- [388] Bayanov B., Kuznetsov A., Sinitskii S., Sulyaev Yu., Taskaev S. Dosimetry and spectrometry at accelerator based neutron source for boron neutron capture therapy. // The 11th Neutron and Ion Dosimetry Symposium, Cape Town, South Africa, 12-16 October 2009. - p.108.
- [389] Taskaev S. No technical problems for realization of best reaction to form the beam of epithermal neutrons for BNCT. // Satellite Symposium on Neutrons for Therapy, Cape Town, South Africa, 12 October 2009. - p.20.
- [390] Bayanov B., Burdakov A., Chudaev V., Ivanov A., Konstantinov S., Kuznetsov A., Makarov A., Malyshkin G., Mekler K., Sorokin I., Sulyaev Yu., Taskaev S. Results of first experiments on neutron generation in the VITA neutron source. // Proc. of the 2-nd Intern. Conference on Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy, June 9-15, 2008. - Kyiv, Ukraine, 2009. Part II, p.772-776.
- [391] Bayanov B., Burdakov A., Davydenko V., Ivanov A., Kudryavtsev A., Malyshkin G., Shirokov V., Taskaev S. Innovative accelerator based neutron source. // Proc. of the 2-nd Intern. Conference on Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy, June 9-15, 2008. - Kyiv, Ukraine, 2009. Part II, p.799-802.
- [392] Алейник В.И., Баянов Б.Ф., Бурдаков А.В., Давыденко В.И., Иванов, А.А., Кривенко А.С., Кузнецов А.С., Макаров А.Н., Сорokin И.Н., Суляев Ю.С., Таскаев С.Ю. Ускорительный источник нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии. // Аннотации III Всероссийской молодёжной школы-семинара с международным участием «Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным

- проблемам физики», 25-30 октября 2009, Новосибирск, ИЯФ. - с.59.
- [393] *Аникеев А.В., Багрянский П.А., Иванов А.А., Кругляков Э.П., Цидулко Ю.А., Ноак К.* Мощный нейтронный источник для управления подкритическим реактором деления и трансмутации долгоживущих радиоактивных отходов. // Тез. докл. XXXVI Междунар. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, г.Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.39.
- [394] *Коржавина М.С., Аникеев А.В., Багрянский П.А.* Изучение микронеустойчивостей в плазмоиде анизотропных ионов в компактном пробкотроне ГДЛ. // Тез. докл. XXXVI Междунар. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, г.Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.41.
- [395] *Аникеев А.В., Багрянский П.А.* Улучшение удержания плазмы в газодинамической ловушке и повышение эффективности нейтронного источника на основе ГДЛ. // Тез. докл. XXXVI Междунар. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, г.Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.42.
- [396] *Аникеев А.В., Багрянский П.А., Беклемишев А.Д., Иванов А.А., Киреенко А.В., Кириллов К.Ю., Коржавина М.С., Лизунов А.А., Максимов В.В., Мурахтин С.В., Пинженин Е.И., Приходько В.В., Солдаткина Е.И., Соломахин А.Л.* // Подавление продольных потерь в ГДЛ с помощью амбиполярной пробки. // Тез. докл. XXXVI Междунар. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, г.Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.47.
- [397] *Бурдаков А.В., Авроров А.П., Аржанников А.В., Астрелин В.Т., Баткин В.И., Белых В.В., Бурмасов В.С., Вячеславов Л.Н., Гришиняев Е.С., Деревянкин Г.Е., Попов С., Иваненко В.Г., Иванов И.А., Иванцовский М.В., Калинин П.В., Кандауров И.В., Кузнецов А.С., Кузнецов С.А., Куклин К.Н., Макаров А.Г., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Примак М.А., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л., Степанов В.Д., Судников А.В., Суляев Ю.С., Скляр В.Ф., Сорокина Н.В., Трунев Ю.А., Цура М.А., Шошин А.А.* Многопробочная ловушка ГОЛ-3: состояние и перспективы. // Тез. докл. XXXVI Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 2009, стр.23.
- [398] *Кузнецов С.А., Аржанников А.В., Бурдаков А.В., Вячеславов Л.Н., Иванцовский М.В., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Попов С.С., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л., Скляр В.Ф., Суляев Ю.С.* Субмиллиметровая 2 $\omega$ -радиометрия турбулентной плазмы на установке ГОЛ-3. // Тез. докл. XXXVI Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.44.
- [399] *Поступаев В.В., Бурдаков А.В., Иванов И.А., Куклин К.Н., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л., Судников А.В.* Магнитная диагностика плазмы на установке ГОЛ-3. // Тез. докл. XXXVI Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.74.
- [400] *Аржанников А.В., Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Иваненко В.Г., Иванов И.А., Иванцовский М.В., Куклин К.Н., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Попов С.С., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сеницкий С.Л., Степанов В.Д., Суляев Ю.С.* Измерение спектра энергий мощного микросекундного РЭП в процессе релаксации в горячей плазме многопробочной ловушки ГОЛ-3. // Тез. докл. XXXVI Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 February, 2009. - М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2009. - с.84.

- [401] *Шошин А.А., Аржанников А.В., Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Л.Н. Вячеславов, Гаркуша И.Е., Иваненко В.Г., Иванов И.А., Иванцовский М.В., Куклин К.Н., Макаров М.А., Махлай В.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Попов С.С., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Синицкий С.Л., Сорокина Н.В., Терешин В.И., Чеботарев В.В.* Исследование модификации поверхности твердых тел под воздействием мощного потока плазмы на установках ГОЛ-3 и КСПУ Х-50. // Тез. докл. XXXVI Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 February, 2009. - М.: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2009. - с.93.
- [402] *Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Деревянкин Г.Е., Кандауров И.В., Трунев Ю.А.* Разработка источника мощного электронного пучка с субмиллисекундной длительностью импульса для термоядерных приложений. // Тез. докл. XXXVI Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 February, 2009. - М.: "PLAZMAIOFAN", 2009. - р.298.
- [403] *Астрелин В.Т., Кандауров И.В., Синицкий С.Л., Трунев Ю.А.* Расчет характеристик мощного РЭП, формируемого в ленточном диоде с плазменным катодом в магнитном поле. // Тез. докл. XXXVI Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 February, 2009. - М.: "PLAZMAIOFAN", 2009. - р.299.
- [404] *Аржанников А.В., Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Иваненко В.Г., Иванов И.А., Иванцовский М.В., Куклин К.Н., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Попов С.С., Поступаев В.В., Ровенских, А.Ф. Синицкий С.Л., Степанов В.Д., Суляев Ю.С.* Диагностика для исследования динамики энергетического спектра мощного релятивистского электронного пучка в плазме многопробочной ловушки ГОЛ-3. // Тез. докл. XIII Всероссийской конференции "Диагностика высокотемпературной плазмы" (ДВП-13), Звенигород, 2009, с.36-38.
- [405] *Кузнецов С.А., Аржанников А.В., Бурдаков А.В., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Попов С.С., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Синицкий С.Л., Скляров В.Ф., Суляев Ю.С.* Субмиллиметровая СВЧ-радиометрия турбулентной плазмы на установке ГОЛ-3. // Тез. докл. XIII Всероссийской конференции "Диагностика высокотемпературной плазмы" (ДВП-13), Звенигород, 2009, с.39-41.
- [406] *Полосаткин С.В., Гришняев Е.С., Иванов И.А., Подыминогин А.А., Шиховцев И.В.* Оптическая спектроскопия плазмы ВЧ эмиттера мощного инжектора быстрых нейтралов. // Тез. докл. XIII Всероссийской конференции "Диагностика высокотемпературной плазмы" (ДВП-13), Звенигород, 2009, с.51-53.
- [407] *Поступаев В.В., Аржанников А.В., Астрелин В.Т., Баткин В.И., Батраков А.М., Бурдаков А.В., Бурмасов В.С., Вячеславов Л.Н., Иванов И.А., Иванцовский М.В., Квашинин А.Н., Кузнецов С.А., Куклин К.Н., Макаров М.А., Полосаткин С.В., Попов С.С., Примаков М.А., Ровенских А.Ф., Сазанский В.Я., Синицкий С.Л., Скляров В.Ф., Сорокина Н.В., Судников А.В., Суляев Ю.С., Федотов М.Г., Хильченко А.Д., Шошин А.А.* Статус и развитие диагностического комплекса многопробочной ловушки ГОЛ-3. // Тез. докл. XIII Всероссийской конференции «Диагностика высокотемпературной плазмы» (ДВП-13), Звенигород, 2009, с.131-132.
- [408] *Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Деревянкин Г.Е., Кандауров И.В., Трунев Ю.А.* Формирование длинноимпульсного электронного пучка с высокой плотностью тока в диоде со свободными плазменными эмитирующими границами. // Труды III международного Крейнделевского семинара "Плазменная эмиссионная электроника", Улан-Удэ, 2009, с.74-80.

- [409] *Burdakov A.V., Ivanov A.A., Kruglyakov E.P.* Novosibirsk mirror traps. Status and prospects. // 36th EPS Conference on Plasma Phys. Sofia, Bulgaria, 2009, Contributed papers: CD-ROM, v.33E, P-4.147.
- [410] *Postupaev V.V., Arzhannikov A.V., Astrelin V.T., Batkin V.I., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Ivantsivskiy 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., Sorokina N.V., Sinitsky S.L., Sudnikov A.V., Sulyaev Yu.S., Vyacheslavov L.N.* Advances in turbulent plasma confinement in Multiple Mirror Trap GOL-3. // 36th EPS Conference on Plasma Phys. Sofia, Bulgaria, 2009. - Contributed papers: CD-ROM, v.33E, P-4.151.
- [411] *Kuznetsov S.A., Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Kubarev V.V., Gelfand A.V., Fedorinina N.I., Goncharov Yu.G., Gorshunov B.P., Sorolla M., Navarro-Cia M., Beruete M., Aznabet M.* Metal mesh based quasi-optical selective components for THz-submm-wave and microwave applications. // VII Intern. Workshop “Strong microwaves: sources and applications”, Nizhny Novgorod, 27 July – 2 August 2008. - Proc.: 2009, v.1, p.122-127.
- [412] *Ginzburg N.S., Peskov, N.Yu., Sergeev A.S., Zaslavsky V.Yu., Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Kuznetsov S.A., Gross A.W., He W., Konoplev I.V., Phelps A.D.R., Robertson C.W., Ronald K., Whyte C.G., Thumm M.* Generation of powerful coherent radiation in FEM exploiting two-dimensional distributed feedback. // VII Intern. Workshop “Strong microwaves: sources and applications”, Nizhny Novgorod, 27 July – 2 August 2008. - Proc.: 2009, v.1, p.154-161.
- [413] *Arzhannikov A.V., Burdakov A.V.* Small scale instabilities at high power REB-plasma interaction as mechanism of plasma heating in long solenoid (review of investigations). // VII Intern. Workshop “Strong microwaves: sources and applications”, Nizhny Novgorod, 27 July – 2 August 2008. - Proc.: 2009, v.2, p.392-398.
- [414] *Kuznetsov S., Navarro-Cia M., Kubarev V., Gelfand A., Beruete M., Campillo I., Sorolla M.* Investigation of doubly periodic EOT-hole-arrays at THz-frequencies: ordinary and anomalous resonant transmission. // Proc. of 3rd Young Scientist Meeting on Metamaterials “YSMM’09”, July 7-8, 2009, Leganes, Madrid, Spain, p. 351-352.
- [415] *Kuznetsov S.A., Arzhannikov A.V., Kubarev V.V., Sorolla M., Beruete M., Navarro-Cia M., Aznabet M., Campillo I., Gelfand A.V., Fedorinina N.I.* FSS-Filters and metasurfaces for subterahertz and terahertz frequencies. // Proc. of the 3rd Intern. Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics “Metamaterials-2009”, August 30 - September 4, 2009, London, UK, p.391-393.
- [416] *Kuznetsov S.A., Navarro-Cia M., Beruete M., Sorolla M., Arzhannikov A.V., Gelfand A.V., Fedorinina N.I.* Subterahertz metasurfaces with extra-densely packed cells comprised by convoluted tripole elements. // Proc. of the 3rd Intern. Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics “Metamaterials-2009”, August 30th – September 4th, 2009, London, UK, p.394-396.
- [417] *Kuznetsov S.A., Kubarev V.V., Gelfand A.V., Fedorinina N.I., Kalinin P.V., Goldenberg B.G., Vinokurov N.A.* Frequency selective surfaces for filtering radiation harmonics of Novosibirsk terahertz free electron laser. // Proc. of the 3rd Intern. Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics “Metamaterials-2009”, August 30 - September 4, 2009, London, UK, p.608-610.
- [418] *Kuznetsov S.A., Arzhannikov A.V., Kubarev V.V., Gelfand A.V., Fedorinina N.I., Goncharov Yu.G., Kalinin P.V., Vinokurov N.A., Goldenberg B.G., Sorolla M.* Passive metal mesh based quasi-optical selective components for subterahertz and terahertz applications. // Proc. of the 39th European Microwave Conference, 28 Sept. - 2 Oct., 2009, Rome, Italy, p.826-829.



- [419] *Kuznetsov S.A., Arzhannikov A.V., Goncharov Yu.G., Marunenکو Yu.V., Bereziuk F.B., Zorenko A.V., Gelfand A.V., Fedorinina N.I.* Quasi-optical spectral system for submm-wave radiometry of turbulent plasma. // Proc. of the 39th European Microwave Conference, 28 September - 2 October, 2009, Rome, Italy, p.173-176.
- [420] *Kuznetsov S.A., Arzhannikov A.V., Kalinin P.V., Sorolla M., Aznabet M., Navarro-Cia M., Beruete M., Gelfand A.V., Fedorinina N.I., Kubarev V.V.* Development and characterization of quasioptical mesh filters and metastructures for subterahertz and terahertz applications. // Final Program of The 9th Intern. Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments "ISMTII-2009", June 29 – July 2, 2009, Saint-Petersburg, Russia, p.52 (to be published in the journal "Key Engineering Materials", Elsevier).
- [421] *Akberdin R.R., Chesnokov E.N., Dem'yanenko M.A., Esaev, D.G. Goryachevskaya T.N., Klimov A.E., Knyazev B.A., Kolobanov E. I., Kozlov A.S., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kuznetsov S.A., Matveenko A.N., Medvedev L.E., Naumova E.V., Okotrub A.V., Ovchar V.K., Palagin K.S., Paschin N.S., Peltek S.G., Petrov A.K., Prinb V.Ya., Popik V.M., Salikova T.V., Serebnyakov S.S., Skrinsky A.N., Shevchenko O.A., Scheglov M.A., Vinokurov N.A., Vlasenko M.G., Yakovlev V.V., Zaigraeva N.S.* High power THz application by using NOVOFEL. // Proc. of the 34th Intern. Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2009), September 21-25, 2009, Busan, Korea, paper 09030521.
- [422] *Гольденберг Б.Г., Абрамский А.Ю., Генцелев А.Н., Зелинский А.Г., Корольков В.П., Кондратьев В.И., Кузнецов С.А., Кулипанов Г.Н., Маслий А.И., Петрова Е.В., Пиндюрин В.Ф., Пельтек С.Е., Попик В.М., Сороколетов Д.С.* Развитие технологического комплекса LIGA-технологии в Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения. // VII Национальная конференция по применению Рентгеновского, Синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследований наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии (РСНЭ-НБИК 2009), 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНИЦ КИ, 2009. - с.544.
- [423] *Romanov A., et al.* Beam studies with electron columns. // Presented at Particle Accelerator Conference (PAC 09), Vancouver, BC, Canada, 4-8 May, 2009.
- [424] *Крылова Т.А., Полетика И.М., Голковский М.Г., Макаров С.А.* Формирование многофункциональных покрытий методом электронно-лучевой наплавки карбида хрома в атмосфере воздуха // Труды 9<sup>й</sup> Межд. конференции «Пленки и покрытия - 2009», Санкт-Петербург. - Издательство Политехнического Университета, 2009, с.188-190.
- [425] *Крылова Т.А., Полетика И.М., Голковский М.Г.* Коррозионно-стойкие и жаростойкие покрытия на низкоуглеродистой стали, полученные методом электронно-лучевой наплавки. // Межд. конференция по физической мезомеханике, компьютерному конструированию и разработке новых материалов, Томск: ИФПМ СО РАН, 2009, с.343-344.
- [426] *Крылова Т.А., Полетика И.М., Голковский М.Г. Перовская М.В., Макаров С.А.* Модифицирование структуры и свойств металла электронно-лучевой наплавки карбидом вольфрама. // XIII Межд. конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», Минск, 2009, с.261-263.
- [427] *Крылова Т.А., Полетика И.М., Иванов Ю.Ф., Голковский М.Г.* Формирование коррозионно-стойких покрытий методом электронно-лучевой наплавки на ускорителе электронов // XIII Межд. конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», Минск, 2009, с.264-266.
- [428] *Kuksanov N.K., Salimov R.A., Nemytov P.I., Lavruchin A.V., Golubenko Ju.I., Fadeev S.N., Korchagin A.I., Kogut D.S.* High Power ELV Electron Accelerators for Research and Industries

- // Proc. of Intern. Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators, SM/EB-30, Vienna, Austria, 4-8 May, 2009.
- [429] *Golkovski M.G.* Thick tungsten containing coats on aluminum substrate prepared by method of vacuum-free electron beam surfacing. // Poster session 9<sup>th</sup> Intern. Conference on Electron Beam Technologies (EBT'09), Varna, Bulgaria, 1 - 4 June, 2009.
- [430] *Golkovski M.G., Kuksanov N.K.* Estimation of evaporation reactor parameters for producing of nanoparticle powders of different materials by method of source material evaporating with using of focused electron beam. // Proc. of 9<sup>th</sup> Intern. Conference on Electron Beam Technologies (EBT'09), Varna, Bulgaria, 1 - 4 June, 2009.
- [431] *Kuksanov N.K., Salimov R.A., Nemytov P.I., Lavruchin A.V., Golubenko I. Ju., Kogut D.S., Chakin I.K., Fadeev S.N., Korchagin A.I., Gromov V.G., Vankin A.I., Roikh S.P.* High-automated equipment complex for EB crosslinking of cable insulation. // Proc. of 9<sup>th</sup> Intern. Conference on Electron Beam Technologies (EBT'09), Varna, Bulgaria, 1 - 4 June, 2009.
- [432] *Kuksanov N.K., Salimov R.A., Nemytov P.I., Lavruchin A.V., Golubenko Ju.I., Fadeev S.N., Korchagin A.I., Kogut D.S.* High power ELV electron accelerators for research and industries // Proc. of 9<sup>th</sup> Intern. Conference on Electron Beam Technologies (EBT'09), Varna, Bulgaria, 1 - 4 June, 2009.
- [433] *Bardakhanov S.P., Lysenko V.I., Korchagin A.I., Golkovski M.G., Nomoev A.V.* Production of nanopowders with high power ELV electron accelerator. // Intern. Conference on Fluxes and Structures in Fluids: Physics of Geospheres, Moscow, June, 2009. - Abstracts, v.1. - Moscow: IIPM of RAS, 2009, p.18-20.
- [434] *Bardakhanov S.P., Korchagin A.I.* Nanopowder production with electron accelerator. // The 2nd Nanotechnology Intern. Forum, Moscow, October 6-8, 2009. - Abstracts, Moscow: Rusnanotech, 2009.
- [435] *Reznichenko A.V.* Gluon reggeization proof in NLA. // XIV Frascati Spring School "Bruno Touschek" in nuclear, subnuclear and astroparticle physics. - INFN National Laboratories in Frascati, Italy, May 11 - May 15.
- [436] *Valentin V. Sokolov.* Electron quantum transport trough a mesoscopic device: dephasing and absorption induced by interaction with a complicated background. // Intern. Conference: Chaotic Modeling and Simulation (Chaos 2009) 2009, June 1-5, Chania, Crete, Greece. - Electronic Proc., p.80.
- [437] *Sokolov V.V.* Ballistic electron transport in a presence of a disordered background. // Intern. Conference: Nonlinear Dynamics in Quantum Systems (in Commemoration of Boris Chirikov). - Siberian Federal University, July 6-10, 2009. Krasnoyarsk, Russia.
- [438] *Kharkov Ya.A., Sokolov V.V. and Zhiron O.V.* Quantum chaos versus noisy environment. // Intern. Conference: Nonlinear Dynamics in Quantum Systems (in Commemoration of Boris Chirikov). -/ Siberian Federal University, July 6-10, 2009. Krasnoyarsk, Russia.
- [439] *Strakhovenko V.* Polarization of particles in electromagnetic showers developing in media. // The Workshop "Posipol 2009", Lyon, France, June 23-26, 2009. - <http://indico.cern.ch/event/53079>
- [440] *Zhiron O.V.* Quantum synchronization in qubit-oscillator system. // Intern. Conference: Nonlinear Dynamics in Quantum Systems (in Commemoration of Boris Chirikov), Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, July 6-10, 2009.
- [441] *Бибердорф Э.А., Попова Н.И.* Библиотека GALA-2.1 -- гарантированная точность в прикладных задачах линейной алгебры. // 7-я Международная конференция памяти

- академика Ершова А.П.: Перспективы систем информатики. - ИСИ СО РАН, 15-19 июня 2009, Novosibirsk.
- [442] *Таскаев С.Ю., Баянов Б.Ф., Белов В.П., Макаров А.Н., Мальшикин Г.Н.* Нейтроногенерирующая мишень ускорительного источника эпитепловых нейтронов. // 8-ой Междунар. Уральский семинар: Радиационная физика металлов и сплавов, 23 февраля - 1 марта 2009, Россия, Снежинск. - Тез. докл. (Снежинск 09). - с.108-110.
- [443] *Жмуриков Е.И., Губин К.В., Кот Н.Х., Логачев П.В., Цыбуля С.В., Титов А.Т., Luigi T.* Высокотемпературные испытания мелкозернистого плотного графита для конвертора нейтронной мишени. // 8-ой Междунар. Уральский семинар: Радиационная физика металлов и сплавов, 23 февраля - 1 марта 2009, Россия, Снежинск. - Тез. докл. (Снежинск 09). - с.114.
- [444] *Князев Б.А.* Терагерцовая радиоскопия и спектроскопия на Новосибирском ЛСЭ. // Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 2-5 марта 2009, Нижний Новгород. - Тез. докл., Нижний Новгород. - ИПФ РАН, 2009. - с.10-12.
- [445] *Соломахин А.Л., Багрянский П.А., Иваненко С.В., Квашин А.Н., Коваленко Ю.В., Лизунов А.А., Савкин В.Я., Хильченко А.Д.* Многоканальный дисперсионный интерферометр для контроля плотности и положения плазмы. // Тез. докл. XXXVI Междунар. Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 9-13 февраля 2009. - М.: ЗАО НТЦ "ПЛАЗМАИОФАН", 2009. - с.37.
- [446] *Скляр В.Ф., Бурдаков А.В., Иванцовский М.В., Кузнецов С.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Попов С.С., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Синецкий С.Л., Суляев Ю.С.* Исследование эмиссии субмиллиметрового СВЧ-излучения в окрестности удвоенной плазменной частоты на установке ГОЛ-3. // //Материалы XLVII Междунар. науч. студ. конф. "Студент и научно-технический прогресс": Физика, 11-15 апреля 2008. - Новосибирск, НГУ, 2009, с.126.
- [447] *Блинов А.Е., Руденко А.С.* Электрические и слабые дипольные моменты фермионов. // Материалы XLVII Междунар. науч. студ. конф. "Студент и научно-технический прогресс": Физика, 11-15 апреля 2008. - Новосибирск, НГУ, 2009, с.180.
- [448] *Knyazev B.A., Cherkassky V.S., Gerasimov V.V., Vlasenko M.G.* Imaging ATP-spectroscopy and interferometry using intense monochromatic terahertz radiation. // II Intern. Symp. Topical Problems of Biophotonics (TPB-2009), 19-24 July, 2009, Nizhny Novgorod, Samara, Russia. - Proc. - Nizhny Novgorod, IAP RAS, 2009. - p.289-290.
- [449] *Peltek S.E., Gopryachkovskaya T.N., Kozlov A.S., Petrov A.K., Scheglov M.A., Mordvinov V.A., Popik V.M.* FEL radiation use for large biomolecules ablation. // II Intern. Symp. Topical Problems of Biophotonics (TPB-2009), 19-24 July, 2009, Nizhny Novgorod, Samara, Russia. - Proc. - Nizhny Novgorod, 2009. - p.304.
- [450] *Vinokurov N.A., Dementyev E.N., Dovzhenko B.A., Getmanov Ya.V., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Matveenko A.N., Medvedev L.E., Miginsky S.V., Mironenko L.A., Ovchar V.K., 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.* Development and applications of free electron lasers: status and perspectives. // II Intern. Symp. Topical Problems of Biophotonics (TPB-2009), 19-24 July, 2009, Nizhny Novgorod, Samara, Russia. - Proc. - Nizhny Novgorod, 2009. - p.323-324.
- [451] *Tolochko B.P., Lyakhov N.Z., Kulipanov G.N.* Synchrotron radiation in materials diagnostics. // Russian-Japanese Workshop (review conf.): State of Materials Research and New Trends

- in Material Science, 3-5 August, 2009, Novosibirsk, Russia. - Program and Abstr. Book. - Novosibirsk: NIIC SB RAS, 2009. - p.16.
- [452] *Knyazev B.A.* Instrumentation and experimental opportunities for material study at terahertz Novosibirsk free electron laser. // State of Materials Research and New Trends in Material Science, 3-5 August, 2009, Novosibirsk, Russia. - Program and Abstr. Book. - Novosibirsk: NIIC SB RAS, 2009. - p.17-18.
- [453] *Князев Б.А.* Новосибирский лазер на свободных электронах: возможности для исследования свойств материалов. // 1-я Всерос. науч. конф. "Методы исслед. состава и структуры функциональных материалов" (МИССФМ-2009), Новосибирск, 11-16 октября 2009. - Тез. докл. - Новосибирск: Ин-т катализа им. Борескова СО РАН, 2009. - с.15.
- [454] *Валеев Р.Г., Сурнин Д.В., Ветошкин В.М., Кривенцов В.В., Зубавичус Я.В., Мезенцев Н.А.* Использование матриц пористого  $Al_2O_3$  для синтеза полупроводниковых наноструктур Ge. // 1-я Всерос. науч. конф. «Методы исслед. состава и структуры функциональных материалов» (МИССФМ-2009), Новосибирск, 11-16 октября 2009. - Тез. докл. - Новосибирск: Ин-т катализа им. Борескова СО РАН, 2009. - с.138.
- [455] *Knyazev B.A., Kulipanov G.N., Vinokurov N.A., Aseev A.L., Cherkassky V.S., Chesnokov E.N., Chuguii Yu.V., Dem'yanenko M.A., Esaev D.G., Fomin V.M., Gavrilov N.G., Gerasimov V.V., Golod S.V., Goryachkovskaya T.N., Kolobanov E.I., Kozlov A.S., Kubarev V.V., Malyshkin S.B., Matveenko A.N., Medvedev L.E., Merzhievsky L.A., Miginsky S.V., Mironenko L.A., Naumova E.V., Ovchar V.K., Ovsyuk V.N., Peltek S.E., Petrov A.K., Popik V.M., Prinz V.Ya., Salikova T.V., Scheglov M.A., Seleznev V.A., Serednyakov S.S., Shevchenko O.A., Skrinsky A.N., Stupak M.F., Vlasenko M.G., Yakovlev V.I., Zhigach S.A.* Novosibirsk high-power terahertz free electron laser: instrumentation development and experimental achievements. // The 9th Intern. Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII-2009), 29 June - 2 July, 2009, Saint-Petersburg, Russia. - Proc. - St.-Petersburg: D.S.Rozhdestvensky Optical Soc., 2009, v.1, p.XLIV-XLVIII. (То же. - v.2, p.XLIV; v.3, p.XLIV' v.4, p.XLIV).
- [456] *Vedernikov V.M., Dutov P.M., Knyazev B.A., Kokarev A.I., Kiryanov V.P., Nikitin V.G., Palchikova I.G., Sametov A.R., Stupak M.F., Chugui Y.V., Chukanov V.V.* Transmissive diffractive elements for the terahertz spectral range. // The 9th Intern. Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII-2009), 29 June - 2 July, 2009, Saint-Petersburg, Russia. - Proc. - St.-Petersburg: D.S.Rozhdestvensky Optical Soc., 2009, v.2, p.2-366 - 2-370.
- [457] *Peltek S.E., Goryachkovskaya T.N., Popik V.M., Pindyurin V.F., Eliseev V.S., Goldenberg B.G., Shcheglov M.A., Tikunova N.V., Khlebodarova T.M., Rubtsov N.B., Kulipanov G.N., Kolchanov N.A.* Microfluidic systems in biology. // The 9th Intern. Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII-2009), 29 June - 2 July, 2009, Saint-Petersburg, Russia. - Proc. - St.-Petersburg: D.S.Rozhdestvensky Optical Soc., 2009, v.3, p.3-016 - 3-023.
- [458] *Khrebtov I.A., Malyarov V.G., Zerov V.Yu., Nikolenko A.D., Pindyurin V.F., Legkodymov A.A., Lyah V.V.* Tests of model of absolute measuring instrument of synchrotron radiations power. // The 9th Intern. Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII-2009), 29 June - 2 July, 2009, Saint-Petersburg, Russia. - ISTC Special Session. - St.-Petersburg: D.S.Rozhdestvensky Optical Soc., 2009, p.12-16.
- [459] *Avakyan S.V., Baranova L.A., Kuvaldin E.V., Leonov N.B., Savinov E.P., Savuyshkin A.V., Voronin N.A., Kovalenok V.V., Savinykh V.P., Pindurin V.F., Nikolenko A.D.* Space Solar

- Patrol data and the weather-climate changes, including the global warming. // The 9th Intern. Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII-2009), 29 June - 2 July, 2009, Saint-Petersburg, Russia. - ISTC Special Session. - St.-Petersburg: D.S.Rozhdestvensky Optical Soc., 2009, p.22-43.
- [460] *Vinokurov N.A., Dementyev E.N., Dovzhenko B.A., Gavrilov N.G., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Matveenko A.N., Medvedev E., Miginsky S.V., Mironenko L.A., Ovchar V.K., 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.* Commissioning of Novosibirsk multi-pass energy recovery linac. // Proc. - Gyeongju, Korea: Pohang Accelerator Lab., 2009. - p.507-510.
- [461] *Кулипанов Г.Н.* Синхротронное излучение и лазеры на свободных электронах (исследовательский, технологический и образовательный потенциал). // Университеты XXI века: инновации и новые технологии: материалы Междунар. науч. конф., посвященной 75-летию КазНУ им. аль-Фараби, 14-15 октября 2009. - Алматы: Казак университеті, 2009, т.1, с.12.
- [462] *Кулипанов Г.Н.* Источники синхротронного излучения и лазеры на свободных электронах: история, состояние и перспективы. // Школа молодых специалистов «Синхротронное излучение. Дифракция и рассеяние»: СЦСТИ: программа и сб. лекций / под ред. М.В.Кузина. - Новосибирск: ИЯФ им.Будкера, СЦСТИ, 2009, с.1-5.
- [463] *Аульченко В.М.* Однокоординатный рентгеновский детектор. // Школа молодых специалистов «Синхротронное излучение. Дифракция и рассеяние»: СЦСТИ: программа и сб. лекций / под ред. М.В.Кузина. - Новосибирск: ИЯФ им. Будкера, СЦСТИ, 2009, с.6-9.
- [464] *Золотарев К.В.* Источник СИ на сверхпроводящих магнитах. // Школа молодых специалистов «Синхротронное излучение. Дифракция и рассеяние»: СЦСТИ: программа и сб. лекций / под ред. М.В.Кузина. - Новосибирск: ИЯФ им. Будкера, СЦСТИ, 2009, с.10-14.
- [465] *Золотарев К.В.* Теория синхротронного излучения. // Школа молодых специалистов «Синхротронное излучение. Дифракция и рассеяние»: СЦСТИ: программа и сб. лекций / под ред. М.В.Кузина. - Новосибирск: ИЯФ им. Будкера, СЦСТИ, 2009, с.15-18.
- [466] *Шехтман Л.И.* Детектор для изучения взрывных процессов на пучке синхротронного излучения. // Школа молодых специалистов «Синхротронное излучение. Дифракция и рассеяние»: СЦСТИ: программа и сб. лекций / под ред. М.В.Кузина. - Новосибирск: ИЯФ им. Будкера, СЦСТИ, 2009, с.70-72.
- [467] *Князев Б.А.* Терагерцовое излучение и его применение. // Школа молодых специалистов «Синхротронное излучение. Дифракция и рассеяние»: СЦСТИ: программа и сб. лекций / под ред. М.В.Кузина. - Новосибирск: ИЯФ им. Будкера, СЦСТИ, 2009, с.81-82.
- [468] *Ляхов Н.З., Кулипанов Г.Н., Толочко Б.П.* Использование синхротронного излучения в Новосибирске для исследования наноматериалов. // Школа молодых специалистов «Синхротронное излучение. Дифракция и рассеяние»: СЦСТИ: программа и сб. лекций / под ред. М.В.Кузина. - Новосибирск: ИЯФ им. Будкера, СЦСТИ, 2009, с.85-86.
- [469] *Shevchenko O.A., Vinokurov N.* Statistical theory of the SASE FEL based on the two-particle correlation function equation. // 31st Intern. Free Electron Laser Conference (FEL09), Liverpool, 23-28 August 2009, BT Convention Centre, Liverpool, UK: Conf. Programme & Abstr. – Liverpool, 2009. - p.9(MOOA02).

- [470] Jeong Y.U., Cha Y.-H., Lee B.C., Lee K., Park S.H., Kazakevich G. Design of a high-power table-top THz free electron laser. // 31st Intern. Free Electron Laser Conference (FEL09), Liverpool, 23-28 August 2009, BT Convention Centre, Liverpool, UK: Conf. Programme & Abstr. – Liverpool, 2009. - p.64(TUPC74).
- [471] Kuznetsov S.A., Kubarev V.V., Nazmov V.P. Microstructured optical elements for high-power terahertz applications. // 31st Intern. Free Electron Laser Conference (FEL09), Liverpool, 23-28 August 2009, BT Convention Centre, Liverpool, UK: Conf. Programme & Abstr. – Liverpool, 2009. - p.66(TUPC79).
- [472] Vinokurov N., Dementyev E., Dovzhenko B., Getmanov Y.V., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Medvedev L.E., Miginsky S.V., Mironenko L., Ovchar V., Persov B.Z., Popik V.M., Salikova T.V., Scheglov M.A., Serebnyakov S.S., Shevchenko O.A., Skrinisky A., Tcheskidov V.G., Tokarev Yu., Vobly P., Zaigraeva N., Matveenko A.N. First lasing of FEL at the two-orbit ERL. // 31st Intern. Free Electron Laser Conference (FEL09), Liverpool, 23-28 August 2009, BT Convention Centre, Liverpool, UK: Conf. Programme & Abstr. – Liverpool, 2009. - p.67(TUPC80).
- [473] Volkov V., Krutikhin S.A., Kurkin G.Ya., Makarov I., Miginsky S.V., Petrov V., Tiunov M.A., Vinokurov N. Thermionik cathode-grid RF gun simulations for L-band FEL injectors. // 31st Intern. Free Electron Laser Conference (FEL09), Liverpool, 23-28 August 2009, BT Convention Centre, Liverpool, UK: Conf. Programme & Abstr. – Liverpool, 2009. - p.66(TUPC81).
- [474] Vinokurov N., Dementyev E., Dovzhenko B., Getmanov Ya.V., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Medvedev L.E., Miginsky S.V., Mironenko L., Ovchar V., Persov B.Z., Popik V.M., Salikova T.V., Scheglov M.A., Serebnyakov S.S., Shevchenko O.A., Skrinisky A., Tcheskidov V.G., Tokarev Yu., Vobly P., Zaigraeva N., Matveenko A.N. Novosibirsk Free Electron Laser Facility: two-orbit ERL operation and second FEL commissioning (Invited). // 31st Intern. Free Electron Laser Conference (FEL09), Liverpool, 23-28 August 2009, BT Convention Centre, Liverpool, UK: Conf. Programme & Abstr. – Liverpool, 2009. - p.70(TUOD01).
- [475] Ginzburg N., Peskov N., Sergeev A., Zaslavsky V., Arzhannikov A.V., Kalinin P., Sinitsky S.L., Thumm M., Cross A.W., Konoplev I.V., Phelps A. Production of powerful spatially-coherent radiation in free electron lasers based on two-dimensional distributed feedback. // 31st Intern. Free Electron Laser Conference (FEL09), Liverpool, 23-28 August 2009, BT Convention Centre, Liverpool, UK: Conf. Programme & Abstr. – Liverpool, 2009. - p.71(TUOD04).
- [476] Николенко А.Д. Применения синхротронного и терагерцового излучений для нанометрологии [Электронный ресурс]. // 7-я Междунар. специализированная выставка: Лаборатория Экспо-2009, 10-13 ноября, Россия, Москва, ВВЦ: Каталог. Сб. науч. тр. – 2009, 3 с.
- [477] Аultzченко В.М., Винокуров Н.А., Воблый П.Д., Жуланов В.В., Золотарев К.В., Косов в А.В., Кузьминых В.С., Кулипанов Г.Н., Левичев Е.Б., Медведко А.С., Мезенцев Н.А., Мигинский С.В., Мироненко Л.А., Пиндюрин В.Ф., Толочко Б.П., Уткин А.В., Ушаков В.А., Филипченко А.В., Чуркин И.Н., Шехтман Л.И., Шкаруба В.А., Шеромов М.А. Разработки ЦКП “Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения” в области научного приборостроения [Электронный ресурс]. // 7-я Междунар. специализированная выставка: Лаборатория Экспо-2009, 10-13 ноября, Россия, Москва, ВВЦ: Каталог. Сб. науч. тр. – 2009, 9 с.
- [478] Кулипанов Г.Н. Исследование наноматериалов и наносистем в Сибирском Центре синхротронного и терагерцового излучения. // VII Нац. конф. “Рентгеновское,

Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.23 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).

- [479] Жуланов В.В., Аульченко В.М., Евдоков О.В., Жогин И.Л., Прууэл Э.Р., Толочко Б.П., Тэн К.А., Шехтман Л.И. DIMEX - координатный рентгеновский детектор для исследования быстрых (взрывных) процессов. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.545 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [480] Мезенцев Н.А., Шкаруба В.А. Обзор сверхпроводящих вставных устройств для генерации СИ. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.549 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [481] Толочко Б.П., Аульченко В.М., Жогин И.Л., Жуланов В.В., Пирогов Б.Я., Прууэл Э.Р., Тен К.А., Шехтман Л.И. Дифракционные эксперименты с наносекундным временным разрешением. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.555 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [482] Шехтман Л.И., Аульченко В.М., Жуланов В.В., Толочко Б.П., Шарафутдинов М.Р. Координатный детектор с большой угловой апертурой для дифракционных исследований с высоким разрешением. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.558 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [483] Шмаков А.Н., Толочко Б.П., Жогин И.Л., Гаврилов Н.Г., Шеромов М.А. Станция “Прецизионная Дифрактометрия II” на канале СИ №6 накопителя электронов ВЭПП-3. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.559 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [484] Генцелев А.Н., Гольденберг Б.Г., Кондратьев В.И., Петрова Е.В., Пиндюрин В.Ф., Зелинский А.Г. Использование графитовой фольги в качестве несущей мембраны ЛИГА-шаблонов. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.571 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [485] Золотарев К.В., Ракиун Я.В., Холопов М.А., Чернов В.А. Двухкристальный монохроматор с фиксированным положением выходного пучка в диапазоне энергий 6-60 кэВ. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для

- исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.582 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [486] *Ивлюшкин Д.В., Горловой А.В., Зеров В.Ю., Легкодымов А.А., Лях В.В., Маляров В.Г., Николенко А.Д., Пиндюрин В.Ф., Хребтов И.А.* Предварительные результаты испытаний абсолютного измерителя мощности синхротронного излучения. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.585 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [487] *Корнеев В.Н., Забелин А.В., Толочко Б.П., Вазина А.А.* Результаты исследований и разработки рентгендифракционных станций на синхротронном излучении для исследования биологических наноструктур. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.589 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [488] *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. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.591 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [489] *Николенко А.Д., Легкодымов А.А., Лях В.В., Машковцев М.Р., Пиндюрин В.Ф., Чернов В.А., Авакян С.В., Афанасьев И., Воронин Н.А., Зеров В.Ю., Маляров В.Г., Хребтов И.А.* Станция СИ ВЭПП-4 «Космос» для метрологических измерений в мягком рентгеновском и ВУФ диапазонах. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.601 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [490] *Петрова Е.В., Абрамский А.Ю., Гольденберг Б.Г., Кондратьев В.И., Корольков В.П., Зелинский А.Г., Маслий А.И., Максимовский Е.А., Пиндюрин В.Ф.* Особенности изготовления шаблонов для глубокой рентгеновской технологии в Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.606 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).
- [491] *Ракишун Я.В., Мезенцев Н.А., Холопов М.А., Чернов В.А.* Станция мягкой рентгеновской спектроскопии. // VII Нац. конф. “Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии” РСНЭ-НБИК 2009, 16-21 ноября 2009. - Тез. докл. - Москва: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009. - с.610 (Продолжение Всесоюз. совещ. по применению рентгеновских лучей для исследования материалов).



- [492] *Kubarev V.V., Prinz V.Ya., Naumova E.V., Golod S.V.* Terahertz optical activity and metamaterial properties of 2D array of metal-semiconductor microhelices [Electronic resource]. // The 34th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Wave, Paradise Hotel, Busan, Korea, September 21-25, 2009. - Proc. – 2009. - IRMMW-THz 2009.
- [493] *Kubarev V.V., Kolobanov E.I., Kulipanov G.N., Matveenko A.N., Medvedev L.E., Salikova T.V., Scheglov M.A., Srednyakov S.S., Vinokurov N.A.* Modulation instability at the Novosibirsk terahertz free electron laser: study and suppression [Electronic resource]. // The 34 th Intern. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Wave, Paradise Hotel, Busan, Korea, September 21-25, 2009. - Proc. - 2009. - IRMMW-THz 2009.
- [494] *Pestrikov D.V.* Fast transverse multibunch coherent instabilities in a beam with a quasi-uniform filling. // NIM A, 2009, v.604, p.479.
- [495] *Avilov M.S., Gubin K.V., Logatchev P.V., Shiyankov S.V., Tecchio L.B., Zhmurikov E.I.* Design of the 50 kW Neutron Converter for SPIRAL2 Facility. // NIM B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2009, v.267, №15, p.2554-2558.
- [496] *Alyakrinskiy O., Gubin K., Martyshkin P. and Tecchio L.* Influence of grain size and porosity on the release of radioactive isotopes from target materials with high open porosity. // NIM B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2009, v.267, №15, p.2554-2558.
- [497] *Абдульманов В.Г., Диканский Н.С.* Электронно-лучевой источник MIS-1. // VIII Международный семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц: проблемы физики ускорителей на встречных пучках, 31 августа – 5 сентября 2009, Алушта, Украина.
- [498] *Абдульманов В.Г., Диканский Н.С.* Электронно-лучевой источник MIS-1. // 9-ый Всероссийский семинар “Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики”, 27 - 29 мая 2009, Москва.
- [499] *Абдульманов В.Г., Анашин В.В., Веремеенко В.Ф., Воблый П.Д., Диканский Н.С., Константинов В.М., Крыгина А.С., Куликов В.Ф., Репков В.В., Семенов Е.П., Сыроватин В.М., Уткин А.В., Шкаруба В.А.* Фокусирующая магнитная система со сверхпроводящим соленоидом электронно-лучевого ионного источника MIS-1. // 9-ый Всероссийский семинар “Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики”, 27 - 29 мая 2009, Москва.
- [500] *Абдульманов В.Г., Бак П.А., Быков Е.В., Гудков Б.А, Васильев Г.А., Козак В.Р., Кочев А.А., Лебедев Н.Н., Пачков А.А., Тарарышкин С.В., Цыганов А.С.* Система питания и управления электронно-лучевого ионного источника MIS-1. // 9-ый Всероссийский семинар “Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики”, 27 - 29 мая 2009, Москва.
- [501] *Абдульманов В.Г., Колокольников Ю.М., Лабуцкая Е.А., Масленников О.Ю., Невский П.В.* Электронно-оптическая система электронно-лучевого источника MIS-1. // 9-ый Всероссийский семинар “Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики”, 27 - 29 мая 2009, Москва.
- [502] *Касаев А.С., Подгорный Ф.В.* Высоковольтная широкополосная поглощающая нагрузка со встроенным делителем. // VIII Межд. семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц: проблемы физики ускорителей на встречных пучках, 31 августа - 5 сентября 2009, Алушта, Украина.
- [503] *Касаев А.С., Подгорный Ф.В.* Питание системы впуска в ВЭПП-2000. // VIII Межд. семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц: проблемы физики ускорителей на встречных пучках, 31 августа – 5 сентября 2009, Алушта, Украина.

- [504] *Alyakrinskiy O., Barbui M., Batazova M., Bermudez J., Gubin K., Kuznetsov G., Martyshkin P., Tecchio L.* Effective production of intense beams of neutron-rich short-lived isotopes at EURISOL. // TM-04 Final EURISOL Town meeting, Pisa, Italy, March 30 - April 1, 2009.
- [505] *Avilov M.S., Blinov M.F., Gubin K.V., Kholopov M.A., Logachev P.V., Popov V.S., Shiyankov S.V., Tecchio L.B.* Design of a high-temperature neutron production target for SPIRAL-2 facility. // XXI Intern. Workshop on Charged Particle Accelerators, 6-12 September, 2009, Alushta, Ukraine.
- [506] *Avilov M.S., Blinov M.F., Logachev P.V., Kot N.Kh., Shiyankov S.V., Kholopov M.A., Popov V.S., Zhmurikov E.I., Lebedev N.N., Antoshin A.V., Bolkhovityanov D.Yu., Martyshkin P.V., Tecchio L.B., Leroy R., Alyakrinskiy O.* High-power target for high-energy neutrons production. // XXI Intern. Workshop on Charged Particle Accelerators, 6-12 September, 2009, Alushta, Ukraine.
- [507] *Panteleev V.N., Alyakrinskiy O., Barbui M., Barzakh A.E., Fedorov D.V., Ivanov V.S., Lhersonneau G., Mezilev K.A., Molkanov P.L., Moroz F.V., Orlov S.Yu., Stroe L., Tecchio L.B., Tonezzer M. and Volkov Yu.M.* Production of Cs and Fr isotopes from a high-density UC targets with different grain dimensions. // Eur. Phys. J. A, 2009, v.42, p.495-501.
- [508] *Bermudez J., Alyakrinskiy O., Barbui M., Negoita F., Serbina L., Tecchio L.B., Udup E.* Fission target design and integration of neutron converter for EURISOL-DS Project. // Eurisol-ds report 04-25-2009-0015.
- [509] *Negoita F., Serbina L., Udup E., Alyakrinskiy O., Barbui M., Bermudez J., Tecchio L.B., Kadi Y., Kharoua C., Romanets Y.* Improved design of EURISOL fission target systems and handling. // Eurisol-ds report 04-25-2009-0016.
- [510] *Гаузитейн В.В., Логинов А.Ю., Николенко Д.М., Осипов А.В., Сидоров А.А., Стибунов В.Н.* Образование отрицательных пионов виртуальными фотонами на дейтроне. // Известия вузов: Физика, 52, № 11/2 (2009) p.10-13.
- [511] *Николенко Д.М.* Эксперименты с внутренними мишенями на накопителе электронов ВЭПП-3. Тез. докл. 59 Межд. совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ядро 2009), 15-19 июня 2009, Чебоксары. - с.49.
- [512] *Гаузитейн В.В., Логинов А.Ю., Николенко Д.М., Осипов А.В., Сидоров А.А., Стибунов В.Н.* Виртуальные фотоны в реакции  $d(\epsilon, pp)\epsilon' p_i$ . Тез. докл. 59 Межд. совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ядро 2009), 15-19 июня 2009, Чебоксары. - с.254.
- [513] *Гаузитейн В.В., Лазаренко Б.А., Николенко Д.М., Осипов А.В., Рачек И.А., Сидоров А.А., Стибунов В.Н.* Анализ первичных данных в исследовании фотообразования пионов на тензорно поляризованных дейтронах. Тез. докл. 59 Межд. совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ядро 2009), 15-19 июня 2009, Чебоксары. - с.310.
- [514] Ежегодный отчет за 2008 год. - Новосибирск, ИЯФ СО РАН, 2008, 341с.

## Препринты

1. Э.А. Бибердорф, Н.И. Попова. Контроль точности решения краевой задачи методом ортогональной прогонки. // Новосибирск, 2009, 46с (Препринт/ИЯФ 2009-1).
2. Э.А. Бибердорф, Н.И. Попова. Численное решение задачи гемодинамики методом прямых и методом ортогональной прогонки. // Новосибирск, 2009, 35с (Препринт/ИЯФ 2009-2).
3. Ю.А. Цидулко, И.С. Черноштанов. Нелинейные волны со спиральной симметрией. // Новосибирск, 2009, 23с (Препринт/ИЯФ 2009-3).
4. S.A. Nikitin. Tunable-over-energy solenoid-based longitudinal polarization scheme with fixing the vertical polarization at the arcs. // Novosibirsk, 2009, 15p (Preprint/Budker INP 2009-4).
5. Е.М. Балдин, В.В. Анашин, В.М. Аульченко, А.К. Барладян, А.Ю. Барняков, М.Ю. Барняков, С.Е. Бару, И.В. Бедный, О.Л. Белобородова, А.Е. Блинов, В.Е. Блинов, А.В. Бобров, В.С. Бобровников, А.В. Богомяков, А.Е. Бондарь, Д.В. Бондарев, А.Р. Бузыкаев, А.И. Воробьёв, В.В. Гулевич, Ю.М. Глуховченко, В.Н. Жилич, В.В. Жуланов, А.Н. Журавлёв, С.Е. Карнаев, Г.В. Карпов, С.В. Карпов, В.А. Киселёв, Т.А. Козлова, С.А. Кононов, К.Ю. Котов, Е.А. Кравченко, В.Ф. Куликов, Г.Я. Куркин, Э. А. Купер, Е. Б. Левичев, Д.А. Максимов, В.М. Мальшиев, А.Л. Масленников, А.С. Медведко, О.И. Мешков, С.И. Мишнев, И.И. Морозов, Н.Ю. Мучной, В.В. Нейфельд, С.А. Никитин, И.Б. Николаев, И.Н. Окунев, А.П. Онучин, С.Б. Орешкин, И.О. Орлов, А.А. Осипов, С.В. Пелеганчук, В.В. Петров, С.Г. Пивоваров, П.А. Пиминов, А.О. Полуэктов, И.Н. Попков, Г.Е. Поспелов, В.Г. Присекин, А.А. Рубан, Г.А. Савинов, В.К. Сандырев, Е.А. Симонов, С.В. Синяткин, Ю.И. Сковпень, А.Н. Скринский, В.В. Смалюк, Е.В. Старостина, А.М. Сухарев, А.А. Тальшиев, В.А. Таюрский, В.И. Тельнов, Ю.А. Тихонов, К.Ю. Тодышев, Г.М. Тумайкин, Ю.В. Усов, А.Г. Шамоу, Д.Н. Шатилов, Б.А. Шварц, С.И. Эйдельман, А.Н. Юшков. Изучение процессов  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$  и  $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$  на детекторе КЕДР. // Новосибирск, 2009, 55с (Препринт/ИЯФ 2009-9).
6. М.Н. Ачасов, Д.Е. Беркаев, Н.Ю. Мучной, Е.Э. Пята. Проект системы калибровки энергии ВЭПП-2000 на основе метода обратного комптоновского рассеяния. // Новосибирск, 2009, 31с (Препринт/ИЯФ 2009-10).
7. Е.И. Жмуриков, М.Ф. Блинов, Д.Ю. Болховитянов, К.В. Губин, А.В. Ищенко, Н.Х. Кот, П.В. Логачёв, А.Т. Титов, С.В. Цыбуля, Tescio Luigi. К вопросу о долговечности реакторных графитов. // Новосибирск, 2009, 19с (Препринт/ИЯФ 2009-12).
8. Ю.И. Эйдельман. Планирование радиационного лечения ионным пучком. // Новосибирск, 2009, 47с (Препринт/ИЯФ 2009-15).
9. В.Г. Баркова, А.В. Киселев, В.Я. Чудаев. Оценка эффективности бетонной защиты от тормозного излучения 5 МэВ электронов при пуско-наладочных работах на ускорителе ИЛУ-10. // Новосибирск, 2009, 14с (Препринт/ИЯФ 2009-17).
10. М.С. Чащини А.Д. Беклемишев. Подавление поперечного переноса в плазме вращающимся слоем. // Новосибирск, 2009, 31с (Препринт/ИЯФ 2009-18).
11. Г.Н. Абрамов, Е.Г. Авдеева, П.М. Астигеевич, М.Н. Ачасов, В.М. Аульченко, А.Ю. Барняков, К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин, Д.Е. Беркаев, В.Е. Блинов, А.Г. Богданчиков, А.А. Ботов, А.Д. Букин, Д.А. Букин, А.С. Валькович, А.В. Васильев, В.М. Весенев, Е.П. Волкова, В.Б. Голубев, Т.В. Димова, В.П. Дружинин, Л.В. Кардапольцев, А.Н. Кирпотин, Д.П. Коврижин, И.А. Кооп, А.А. Король, С.В. Кошуба, Е.А. Кравченко, А.Ю. Кульпин, А.П. Лысенко, К.А. Мартин, А.Е. Образовский, А.П. Онучин, Е.В. Пахтусова, Е.А. Переведенцев, В.М. Попов, Ю.А. Роговский, А.Л. Романов, С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, А.А. Сироткин, К.Ю. Сковпень, А.Н. Скринский, И.К. Сурин, А.И. Текутьев, Ю.А. Тихонов, Ю.В. Усов, П.В. Филатов, А.Г. Харламов, П.Ю. Шатунов, Ю.М. Шатунов, Д.Б. Шварц, Д.А. Штоль, А.Н. Шукаев. Детектор СНД: состояние дел и первый опыт работы с пучками ВЭПП-2000. // Новосибирск, 2009, 31с (Препринт/ИЯФ 2009-19).

12. В.Р. Козак. Контроллер быстроперестраиваемых источников питания с интерфейсом CANbus. // Новосибирск, 2009, 20с (Препринт/ИЯФ 2009-20).
13. К.А. Тен, В.М. Титов, Э.Р. Прууэл, Л.А. Лукьянчиков, В.М. Аульченко, В.В. Жуланов, К.Э. Купер, Л.И. Шехтман, Ю.А. Аминов, А.К. Музыря, Е.Б. Смирнов, Б.Г. Лобойко, Б.П. Толочко, И.Л. Жогин, О.В. Евдоков. Исследование взрывных процессов в детонирующих зарядах диаметром 20 мм с помощью синхротронного излучения. // Новосибирск, 2009, 19с (Препринт/ИЯФ 2009-21).
14. В.М. Аульченко, О.В. Евдоков, И.Л. Жогин, В.В. Жуланов, Э.Р. Прууэл, Б.П. Толочко, К.А. Тэн, Л.И. Шехтман. Детектор для изучения взрывных процессов на пучке синхротронного излучения. // Новосибирск, 2009, 27с (Препринт/ИЯФ 2009-22).
15. А.М. Батраков, П.Д. Воблый, Г.А. Фаткин. Прототип быстродействующей системы с датчиками Холла для измерения многополюсных магнитных элементов. // Новосибирск, 2009, 32с (Препринт/ИЯФ 2009-24).
16. М.Р. Шарафутдинов, Б.П. Толочко, Б.Б. Бохонов, В.М. Титов. Исследование методами *in situ* дифрактометрии синхротронного излучения образования упорядоченных структур из наночастиц серебра при термическом разложении его карбоксилатов. // Новосибирск, 2009, 12с (Препринт/ИЯФ 2009-25).
17. V.S. Fadin, R. Fiore, A.V. Grabovsky. Matching of the low-x evolution kernels. // Novosibirsk, 2009, 22p (Preprint/Budker INP 2009-36).
18. В.Г. Баркова, В.Я. Чудаев, Н.С. Шамакина. Ослабление бетонной защитой воздушной кермы тормозного излучения из толстых алюминиевых мишеней. Наклонное падение на защиту.  $E_0 = 0,5; 1,0; 2,0; 2,8$  МэВ. // Новосибирск, 2009, 32с (Препринт/ИЯФ 2009-37).
19. V.N. Baier and V.M. Katkov. Pair creation by a photon in an electric field. // Novosibirsk, 2009, 18p (Preprint/Budker INP 2009-38).

\* \* \*

20. S. Bekavac, A.G. Grozin, D. Seidel, M. Steinhauser. Light quark mass effects in the chromomagnetic moment. // arXiv: 0906.0130 (4p.).
21. A.G. Grozin. Introduction to effective field theories. 1. Heisenberg-Euler effective theory, decoupling of heavy flavours. // arXiv:0908.4392 (47p.).
22. S. Bekavac, A.G. Grozin, P. Marquard, J.H. Piclum, D. Seidel, M. Steinhauser. Matching QCD and HQET heavy-light currents at three loops. // arXiv:0911.3356 (23p.); submitted to Nucl. Phys. B.
23. V.M. Khatsymovsky. Integration over connections in the discretized gravitational functional integrals. // Mod. Phys. Lett., in print. - E-print archive: arXiv: 0912.1109.
24. V.M. Khatsymovsky. On positivity of quantum measure and of effective action in area tensor Regge calculus. - E-print: arXiv:0707.3331.
25. Valentin V. Sokolov, Oleg V. Zhirov, and Yaroslav A. Kharkov. Quantum dynamics against a noisy background. // E-print: arXiv:0909.4179 [quant-ph] (2009).
26. Valentin V. Sokolov. Ballistic electron quantum transport in presence of a disordered Background. // E-print: arXiv:0912.0382 [cond-mat.mes-hall] 2 Dec 2009.
27. V.M. Strakhovenko. Quantum electrodynamics. Coulomb effects in the spin-dependent contribution to the intra-beam scattering rate. // arXiv: 0912.5429 v1 [physics.acc-ph], 2009.
28. O.V. Zhirov and D.L. Shepelyansky. Quantum synchronization and entanglement of two qubits coupled to a driven dissipative resonator. // E-print: arXiv:0904.0289v1 [cond-mat.supr-con] (2009).

29. *D.L. Shepelyansky and O.V. Zhirov.* Google matrix, dynamical attractors and Ulam networks. // E-print; arXiv:0905.4162v2 [cs.IR] (2009).
30. *V.M. Khatsymovsky.* Integration over connections in the discretized gravitational functional integrals. // Mod. Phys. Lett., in print; E-print: arXiv:0912.1109.
31. *V.M. Khatsymovsky.* On positivity of quantum measure and of effective action in area tensor Regge calculus. // E-print: arXiv:0707.3331.
32. *Chernyak V.L.* Exclusive  $\gamma^*$ -processes. // Invited talk at the International Workshop: From  $\phi$  до  $\psi$ , 13-16 October 2009, Beijing, China (to be published in Proc.). - arXiv: 0912.0623 [hep-ph], c.1-12.
33. *Chernyak V.L.* A three-loop check of the a-maximization proposal. // arXiv: 0912.3379 [hep-th], p.1-4 (submitted to Phys. Lett. B).
34. *Dmitriev V.F., Berengut J.C., Flambaum V.V.* Effect of quark-mass variation on big bang nucleosynthesis. // arXiv:0907.2288. - Phys. Lett. B, 2010, v.683, p.114-118.
35. *Fadin V.S., Fiore R., Grabovsky A.V.* On the discrepancy of the low-x evolution kernels. // [arXiv:0904.0702 [hep-ph]] (38 p.).
36. *Fadin V.S., Fiore R., Grabovsky A.V.* Matching of the low-x evolution kernels. // arXiv:0911.5617 [hep-ph]. (to be published in Nucl. Phys. B., 17 p.).
37. *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* 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  $B^0 \rightarrow a(1)(1260)^\pm \pi^\mp$ . - E-print: arXiv:0909.2171 [hep-ex].
38. *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Search for a narrow resonance in  $e^+e^-$  to four lepton final states. - E-print: arXiv:0908.2821 [hep-ex].
39. *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Searches for lepton flavor violation in the decays  $\tau^\pm \rightarrow e^\pm \gamma$  and  $\tau^\pm \rightarrow \mu^\pm \gamma$ . - E-print: arXiv:0908.2381 [hep-ex].
40. *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Observation and study of baryonic  $B$  decays:  $B \rightarrow D^{(*)} p \bar{p}$ ,  $D^{(*)} p \bar{p} \pi$ , and  $D^{(*)} p \bar{p} \pi$ . // E-print: arXiv:0908.2202 [hep-ex].
41. *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Measurement and interpretation of moments in inclusive semileptonic decays  $\bar{B} \rightarrow X(c) l^- \bar{\nu}$ . - E-print: arXiv:0908.0415 [hep-ex].
42. *Aubert B., ..., 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. (BaBar Collab.).* Measurement of  $|V(cb)|$  and the form-factor slope in  $\bar{B} \rightarrow D^- \bar{\nu}$  decays in events tagged by a fully reconstructed  $B$  meson. - E-print: arXiv:0904.4063 [hep-ex].
43. *Aad G., ..., Kazanin V.F., Kotov K.Yu., Malychev V., Maslennikov A.L., Orlov I.O., Peleganchuk S.V., Schamov A.G., Soukharev A., Talyshev A., Tikhonov Yu.A., Zaytsev A., et al. (ATLAS Collab.).* Expected performance of the ATLAS experiment - detector, trigger and physics. // Jan 2009, 1852 p. - arXiv:0901.0512 [hep-ex].

44. M.N. Achasov, K.I. Beloborodov, A.V. Bergyugin, A.G. Bogdanchikov, A.D. Bukin, D.A. Bukin, T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, V.B. Golubev, I.A. Koop, A.A. Korol, S.V. Koshuba, A.P. Lysenko, E.V. Pakhtusova, S.I. Serednyakov, Yu.M. Shatunov, Z.K. Silagadze, A.N. Skrinsky, A.V. Vasiljev.  
// Search for lepton flavor violation process  $e^+e^- \rightarrow e\mu$  in the energy region  $\sqrt{s} = 984\text{--}1060$  MeV and  $\phi \rightarrow e\mu$  decay. // E-print: arXiv:0911.1232.
45. Druzhinin, B.I. Khazin, I.A. Koop, I. Logashenko, S.I. Redin, Y.M. Shatunov, I. Orlov, et al. The new (g-2) experiment: A proposal to measure the muon anomalous magnetic moment to  $\pm 0.14$  ppm precision. // FERMILAB-PROPOSAL-0989, February 2009. 129p.
46. 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. Karnae, 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. Measurement of  $D^0$  and  $D^+$  meson masses with the KEDR Detector. // arXiv:0909.5545v1.
47. V.V. Anashin, V.M. Aulchenko, E.M. Baldin, A.K. Barladyan, A.Yu. Barnyakov, M.Yu. Barnyakov, S.E. Baru, I.V. Bedny, O.L. Beloborodova, A.E. Blinov, V.E. Blinov, A.V. Bobrov, V.S. Bobrovnikov, A.V. Bogomyagkov, A.E. Bondar, D.V. Bondarev, A.R. Buzykaev, S.I. Eidelman, Yu.M. Glukhovchenko, V.V. Gulevich, D.V. Gusev, S.E. Karnae, G.V. Karpov, S.V. Karpov, T.A. Kharlamova, V.A. Kiselev, S.A. Kononov, K.Yu. Kotov, E.A. Kravchenko, V.F. Kulikov, G.Ya. Kurkin, E.A. Kuper, E.B. 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. Measurement of  $\gamma_{ee}(J/\psi)^*Br(J/\psi \rightarrow e^+e^-)$  and  $\gamma_{ee}(J/\psi)^*Br(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-)$ . - arXiv: 0912.1082v1.
48. K.Yu. Todyshev. The application Bright-Wigner form with radiative corrections to the resonance fitting. – E-print: hep-ph: 0902.4100V3.
49. Akimov D., Bondar A., Burenkov A., Buzulutskov A. Detection of reactor antineutrino coherent scattering off nuclei with a two-phase noble gas detector. // E-print: arXiv: 0903.4821.
50. Bondar A., Buzulutskov A., Grebenuk A., Pavluchenko D., Tikhonov Y. Electron emission properties of two-phase argon and argon-nitrogen avalanche detectors. // E-print: arXiv: 0908.2915.
51. Bogomyagkov A., Glukhov S., Levichev E., Piminov P. Effect of the sextupole finite length on dynamic aperture in the collider final focus. - arXiv 0909.4872, 2009.

## Авторефераты

1. *Сурин Михаил Израелевич* Разработка методов создания и исследования высоко надежных компактных сверхпроводящих магнитных систем для научного приборостроения и экспериментальной физики. // 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора технических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.
2. *Хацимовский Владимир Михайлович*. Дискретная квантовая гравитация в формализме Редже. // 01.04.02 - теоретическая физика; 01.01.03 - математическая физика. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.
3. *Логачев Павел Владимирович*. Неразрушающая диагностика интенсивных сгустков заряженных частиц электронным пучком низкой энергии. // 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.
4. *Вайнер Борис Григорьевич*. Многоканальная спектрометрия и матричное тепловидение, основанные на использовании арсенид-индиевых фоточувствительных МДП-структур с зарядовой инжекцией. // 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики; 01.04.10 – физика полупроводников. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2009.
5. *Брагин Алексей Владимирович*. Тонкий сверхпроводящий соленоид для детектора КМД-3. // 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.
6. *Приходько Вадим Вадимович*. Удержание анизотропных горячих ионов в установке ГДЛ. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.
7. *Солдаткина Елена Ивановна*. Поперечное удержание плазмы при дифференциальном вращении в газодинамической ловушке. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.
8. *Попов Сергей Сергеевич*. Прямое наблюдение ленгмюровских каверн лазерными методами в экспериментах по нагреву плазмы пучком электронов. // 01.04.08 - физика плазмы. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.
9. *Епифанов Денис Александрович*. Изучение реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  в области  $\rho$ -мезонного резонанса с детектором КМД-2. // 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.
10. *Попов Александр Сергеевич*. Изучение процесса  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^0$  с детектором КМД. // 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.
11. *Анчугов Олег Викторович*. Высоковольтные устройства для управления пучками в ускорителях заряженных частиц. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.
12. *Шведов Дмитрий Александрович*. Быстрые системы впуска-выпуска для ускорителей

заряженных частиц. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата технических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

13. Журавлев Андрей Николаевич. Развитие оптической диагностики пучков заряженных частиц на комплексе ВЭПП-4М. // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореф. дисс. на соис. учен. степ. кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2009, ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН.

### Участие в конференциях

1. XXXVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС, 9 -13 февраля 2009, Звенигород, Россия
2. 8-ой Международный Уральский семинар: Радиационная физика металлов и сплавов, 23 февраля - 1 марта 2009, Снежинск, Россия.
3. Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 2 - 5 марта 2009, Нижний Новгород.
4. 1st International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics, March 11 - 17, 2009, Tsukuba, Japan.
5. IV Международная научно-техническая конференция, 18 - 20 марта 2009, Москва, Россия.
6. 17th International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP 2009), 21 - 27 March, 2009, Prague.
7. DPG Conference, March 30 - April 2, 2009, Greifswald, Germany.
8. International Workshop on Linear Colliders (TILC09), April 17 - 21, 2009, Tsukuba, Japan.
9. Particle Accelerator Conference (PAC09), 4 - 8 May, 2009, Vancouver, Canada.
10. International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators, SM/EB-30, 4 - 8 May, 2009, Vienna, Austria.
11. Austria International Conference "Photon09", DESY, May 11 - 15, 2009, Hamburg.
12. XIV Frascati Spring School "Bruno Touschek" in Nuclear, Subnuclear and Astroparticle Physics, 11 - 15, May, INFN National Laboratories in Frascati, Italy.
13. 11th Pisa Meeting on Advanced Detectors, May 24 - 30, 2009, La Biodola, Isola d'Elba, Italy.
14. 9-ый Всероссийский семинар: Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики, 27 - 29 мая 2009, Москва.
15. 9th International Conference on Electron Beam Technologies (EBT'09), 1 - 4 June, 2009, Varna, Bulgaria.
16. International Conference: Chaotic Modeling and Simulation (Chaos 2009), June 1 - 5, 2009, Chania, Crete, Greece.
17. 59-ое Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ядро 2009), 15 - 19 июня 2009, Чебоксары.
18. 7-я Международная конференция памяти академика Ершова А.П.: Перспективы систем информатики, ИСИ СО РАН, 15 - 19 июня 2009, Novosibirsk, Россия.
19. Международный семинар: Структурные основы модификации материалов методами нетрадиционных технологий (МНТ-Х), 16 - 19 июня 2009, Обнинск, Россия.
20. Workshop «Posipol 2009», June 23 - 26, 2009, Lyon, France.



21. International Conference on Fluxes and Structures in Fluids: Physics of Geospheres, June, 2009, Moscow, Russia.
22. 9th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTH-2009), June 29 – July 2, 2009, Saint-Petersburg, Russia.
23. International Conference: Nonlinear Dynamics in Quantum Systems (in Commemoration of Boris Chirikov), Siberian Federal University, July 6 - 10, 2009, Krasnoyarsk, Russia.
24. 3rd Young Scientist Meeting on Metamaterials (YSMM'09), July 7 - 8, 2009, Leganes, Madrid, Spain.
25. Europhysics Conference on High Energy Physics (EPC2009), 16 - 22 July 2009, Krakow, Poland.
26. II International Symposium: Topical Problems of Biophotonics (TPB-2009), 19 - 24 July, 2009, Nizhny Novgorod, Samara, Russia.
27. Russian-Japanese Workshop: State of Materials Research and New Trends in Material Science, 3 - 5 August, 2009, Novosibirsk, Russia.
28. XXIV International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies, 16 - 22 August, 2009, Hamburg, Germany.
29. 31st Free Electron Laser Conference (FEL 2009), 23 - 28 August, 2009, Liverpool, BT Convention Centre, UK.
30. COOL 09, August 31 - September 4, 2009, Lanzou.
31. VIII Международный семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц: проблемы физики ускорителей на встречных пучках, 31 августа - 5 сентября 2009, Алушта, Украина.
32. XXI Международный семинар по ускорителям заряженных частиц, 6 - 12 сентября, 2009, Алушта, Украина.
33. XXII International Symposium on Nuclear Electronics & Computing (NEC 2009), 7 - 14 September, 2009, Varna, Bulgaria
34. 7-ой Сибирский семинар по сверхпроводимости и смежным проблемам (ОКНО-2009), 16 - 17 сентября 2009, Новосибирск, Россия.
35. 13th International Conference on Ion Sources (ICIS'09), 20 - 25 September, 2009, Gatlinburg, Tennessee, USA.
36. 14th International Conference on RF Superconductivity (SRF2009), 20 - 25 September, 2009, Berlin, Germany.
37. 34th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2009), September 21 - 25, 2009, Busan, Korea.
38. 39th European Microwave Conference, 28 September - 2 October, 2009, Rome, Italy.
39. Школа молодых специалистов: Синхротронное излучение. Дифракция и рассеяние, 2 - 10 октября 2009, Новосибирск, ИЯФ, Россия.
40. 2nd Nanotechnology International Forum, October 6 - 8, 2009, Moscow, Russia.
41. 1-я Всероссийская научная конференция: Методы исследования состава и структуры функциональных материалов (МИССФМ-2009), 11 - 16 октября 2009, Новосибирск, Россия.
42. Satellite Symposium on Neutrons for Therapy, 12 October 2009, Cape Town, South Africa.
43. 11th Neutron and Ion Dosimetry Symposium, 12 - 16 October 2009, Cape Town, South Africa.

44. XII International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALPECS 2009), 12 - 16 October, 2009, Kobe, Japan.
45. 6th International Workshop on  $e^+e^-$  Collisions from  $\phi$  to  $\psi$  (PHIPSI09), 13 - 16 October, 2009, Institute of High Energy Physics, Beijing, China.
46. Университеты XXI века: инновации и новые технологии: Международная научная конференция, посвященная 75-летию КазНУ им. аль-Фараби, 14 - 15 октября 2009, Алматы.
47. III Всероссийская молодёжная школа-семинар с международным участием: Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики, 25 - 30 октября 2009, Новосибирск, ИЯФ, Россия.
48. 51st Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, November 2 - 6, 2009, Atlanta, GA, USA.
49. 2nd Workshop on Nonlinear Beam Dynamics in Storage Rings, November 2 - 4, 2009, Diamond Light Source, Oxford, Great Britain.
50. 7-я Международная специализированная выставка: Лаборатория Экспо-2009, 10 - 13 ноября, Россия, Москва.
51. VII Национальная конференция: Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии (РСНЭ-НБИК 2009), 16 - 21 ноября 2009, Москва.
52. Научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН: Физика фундаментальных взаимодействий, 23 - 27 ноября 2009, ИТЭФ, Москва.
53. XIII Всероссийская конференция: Диагностика высокотемпературной плазмы (ДВП-13), 2009, Звенигород, Россия.
54. Laser Plasma Accelerator Workshop, 2009, Kardamili, Greece.
55. III Международный Крейнделевский семинар: Плазменная эмиссионная электроника, 2009, Улан-Удэ, РФ.
56. 36th EPS Conference on Plasma Physics. 2009, Sofia, Bulgaria.
57. 9-я Международная конференция: Пленки и покрытия 2009, Санкт-Петербург, Россия.
58. Международная конференция по физической мезомеханике, компьютерному конструированию и разработке новых материалов, 2009, Томск, Россия.
59. XIII Международная конференция: Взаимодействие излучений с твердым телом, 2009, Минск, Белоруссия.

## 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>	<b>Физические исследования источника нейтронов на базе магнитной ловушки.</b>	1994	<i>Э. Кругляков,</i> <i>А. Иванов (ИЯФ);</i> <i>К. Ноак (Германия)</i>
4	<i>Ядерный центр</i> <i>"Карлсруэ"</i> <i>(Германия)</i>	1. Разработка концептуального проекта и базы данных для нейтронного источника на основе ГДЛ. 2. Моделирование процессов в диверторе ИТЕР.	1994	<i>Э. Кругляков,</i> <i>А. Иванов,</i> <i>А. Бурдаков (ИЯФ);</i> <i>Г. Кесслер (Германия)</i>
5	<i>GSI</i> <i>(Германия)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: электронное охлаждение, электрон-ионные коллайдеры.	1995	<i>Ю. Шатунов,</i> <i>В. Пархомчук (ИЯФ);</i> <i>Х. Эйкхоф (GSI)</i>
6	<i>DESY</i> <i>(Германия)</i>	<b>Физика элементарных частиц, синхротронное излучение, физика и технология ускорителей, электроника и экспериментальное оборудование.</b>	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>	<b>Получение субмикронных пучков, получение интенсивных позитронных пучков, разработка элементов В-фабрики, детекторов, ВЧ-генераторов на базе магнитонов.</b>	1994	<i>А. Скринский (ИЯФ); Персис Дрэл (SLAC)</i>
30	<i>Институт физики плазмы АНЧР (Чехия)</i>	<b>Сотрудничество в области исследований по физике плазмы и диагностики плазмы.</b>	2008	<i>А. Иванов (ИЯФ); П. Храска (ЧР)</i>
31	<i>CERN (Швейцария)</i>	<b>1. Научно-исследовательские и конструкторские работы по детекторам для большого адронного коллайдера LHC.  2. Создание элементов комплекса LHC.</b>	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>	<b>Сотрудничество в области физики частиц.</b>	2009	<i>Д. Григорьев (ИЯФ); Д. Месот (Институт Поля Шерера)</i>
33	<i>CERN (Швейцария)</i>	<b>Исследования и развитие технологии микро-структурных детекторов.</b>	2009	<i>Ю. Тихонов (ИЯФ); С. Бертоллуччи (CERN)</i>
34	<i>CERN (Швейцария)</i>	<b>Совместные работы по разработке электрон-позитронных коллайдеров со сверхвысокой светимостью.</b>	2009	<i>Е. Левичев (ИЯФ); С. Маерс (CERN)</i>
35	<i>RIKEN Spring-8 (Япония)</i>	<b>Сотрудничество в области физики ускорителей и синхротронного излучения.</b>	1996	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ); Х. Камицубо (Япония)</i>
36	<i>КЕК (Япония)</i>	<b>Проведение исследований в области физики ускорителей и смежных областях, разработка детекторов элементарных частиц.</b>	1995	<i>А. Скринский (ИЯФ); А. Сузуки (КЕК)</i>
37	<i>Центр плазменных исследований Ун-та Цукуба (Япония)</i>	<b>Исследования на открытых ловушках.</b>	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:

*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*

#### Ученый секретарь:

*Васильев Алексей Владимирович*

### Учёный совет

1. Академик, председатель
2. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя
3. Академик, зам. председателя
4. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя
5. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя
6. Кандидат физ.-мат. наук, уч. секретарь
7. Кандидат технических наук
8. Доктор физ.-мат. наук, профессор
9. Академик
10. Кандидат физ.-мат. наук
11. Член-корр. РАН
12. Доктор физ.-мат. наук, профессор

*Скринский А.Н.*  
*Иванов А.А.*  
*Кулипанов Г.Н.*  
*Левичев Е.Б.*  
*Тихонов Ю.А.*  
*Васильев А.В.*  
*Анашин В.В.*  
*Аржанников А.В.*  
*Барков Л.М.*  
*Блинов В.Е.*  
*Бондарь А.Е.*  
*Бурдаков А.В.*

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. Кандидат 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 профсоюзной организации
32. Кандидат физ.-мат. наук	Старостенко А.А. – представитель Совета молодых ученых

## Секции учёного совета по направлениям

### Ускорители для прикладных целей

Кулипанов Г.Н. (предс.)	Куксанов Н.К.	Ткаченко В.О.
Горбунов В.А. (секр.)	Купер Э.А.	Трибендис А.Г.
Мигинский С.В. (секр.)	Куркин Г.Я.	Тувик А.Ф.
Анашин В.В.	Левичев Е.Б.	Тумайкин Г.М.
Антохин Е.И.	Медведко А.С.	Ушаков В.А.
Брызгин А.А.	Мезенцев Н.А.	Фадеев С.Н.
Востриков В.А.	Немытов П.И.	Чернякин А.Д.
Гольденберг Б.Г.	Пархомчук В.В.	Ческидов В.Г.
Диканский Н.С.	Петриченков М.В.	Чуркин И.Н.
Золотарев К.В.	Петров В.М.	Шатунов Ю.М.
Иванов А.А.	Пиндюрин В.Ф.	Шевченко О.А.
Князев Б.А.	Салимов Р.А.	Шеромов М.А.
Колмогоров В.В.	Скринский А.Н.	Широков В.В.
Корчагин А.И.	Сухина Б.Н.	Шкаруба В.А.
Кузнецов Г.И.		

**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.
Багрянский П.А.	Котельников И.А.	Скринский А.Н.
Беклемишев А.Д.	Кругляков Э.П.	Солдаткина Е.И.
Бельченко Ю.И.	Кузнецов А.С.	Соломахин А.Л.
Бурдаков А.В.	Кулипанов Г.Н.	Сорокин А.В.
Бурмасов В.С.	Лизунов А.А.	Суляев Ю.С.
Васильев А.В.	Лотов К.В.	Таскаев С.Ю.
Волосов В.И.	Меклер К.И.	Тимофеев И.В.
Воскобойников Р.В.	Мурахтин С.В.	Хильченко А.Д.
Вячеславов Л.Н.	Полосаткин С.В.	Шиянков С.В.

**Встречные пучки**

Пархомчук В.В. (предс.)	Кулипанов Г.Н.	Подгорный Ф.В.
Петров В.В. (секр.)	Купер Э.А.	Рева В.Б.
Анашин В.В.	Куркин Г.Я.	Салимов Р.А.
Барков Л.М.	Левичев Е.Б.	Симонов Е.А.
Беркаев Д.Е.	Логачев П.В.	Скринский А.Н.
Бондарь А.Е.	Медведко А.С.	Смалюк В.В.
Винокуров Н.А.	Мезенцев Н.А.	Солодов Е.П.
Воблый П.Д.	Мешков О.И.	Старостенко А.А.
Горникер Э.И.	Мишнев С.И.	Тихонов Ю.А.
Гуров С.М.	Нестеренко И.Н.	Тумайкин Г.М.
Диканский Н.С.	Никитин С.А.	Хазин Б.И.
Золотарев К.В.	Онучин А.П.	Шатилов Д.Н.
Карпов Г.В.	Острейко Г.Н.	Шатунов Ю.М.
Кооп И.А.	Переведенцев Е.А.	Шатунов П.Ю.
Киселев В.А.	Пестриков Д.В.	Шварц Д.Б.
Краснов А.А.	Петров В.М.	Шиянков С.В.



## Физика элементарных частиц

Бондарь А.Е. (предс.)	Кооп И.А.	Середняков С.И.
Страховенко В.М. (секр.)	Кравченко Е.А.	Сибиданов А.Л.
Аульченко В.М.	Кузьмин А.С.	Силагадзе З.К.
Ачасов М.Н.	Левичев Е.Б.	Сковпень Ю.И.
<u>Байер В.Н.</u>	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.	Малышев В.М.	Солодов Е.П.
Блинов В.Е.	Масленников А.Л.	Тагорский В.А.
Бузулуцков А.Ф.	Мильштейн А.И.	Тельнов В.И.
Васильев А.В.	Мучной Н.Ю.ц	Терехов И.С.
Воробьев А.И.	Николенко Д.М.	Тихонов Ю.А.
Голубев В.Б.	Онучин А.П.	Топорков Д.К.
Гребенюк А.А.	Пархомчук В.В.	Фадин В.С.
Григорьев Д.Н.	Пахтусова Е.В.	Федотович Г.В.
Грозин А.Г.	Пелеганчук С.В.	Хазин Б.И.
Грошев В.Р.	Пестов Ю.Н.	Хриплович И.Б.
Димова Т.В.	Пивоваров С.Г.	Черняк В.Л.
Дмитриев В.Ф.	Померанский А.А.	Шамов А.Г.
Дружинин В.П.	Попов А.С.	Шатунов Ю.М.
Жилич В.Н.	Рачек И.А.	Шварц Б.А.
Игнатов Ф.В.	Редин С.И.	Шехтман Л.И.
Катков В.М.	Рыскулов Н.М.	Эйдельман С.И.
Кирилин Г.Г.		

## 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.

Научные работники и их публикации

Скринский А.Н.	1, 11, 15, 42, 143, 195, 230, 301, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 361, 421, 450, 455, 460, 472, 474, 495, 5п, 11п, 44п, 46п, 47п	Алейник В.И.	392
Анашин В.В.	15, 25, 26, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 499, 5п, 46п, 47п	Алиновский Н.И.	140, 142
Иванов А.А.	294, 371, 385, 386, 387, 390, 391, 392, 393, 396, 409	Алякринский О.Н.	353, 504, 507, 508, 509
Кругляков Э.П.	234, 242, 250, 293, 294, 393, 409	Аникеев А.В.	176, 177, 393, 394, 395, 396
Кулипанов Г.Н.	145, 247, 264, 275, 292, 313, 361, 421, 422, 450, 451, 455, 457, 460, 461, 462, 468, 472, 474, 477, 478, 493	Анисёнков А.В.	308, 332
Левичев Е.Б.	1, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 136, 143, 195, 196, 300, 314, 315, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 477, 5п, 46п, 47п, 51п	Антохин Е.И.	275
Тихонов Ю.А.	1, 8, 15, 36, 39, 42, 85, 87, 143, 301, 330, 337, 338, 339, 340, 342, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 11п, 43п, 46п, 47п, 50п	Антошин А.В.	506
***	***	Анчарова У.В.	255
Абдрашитов Г.Ф.	151, 386	Анчугов О.В.	1, 316, 11А
Абдильманов В.Г.	497, 498, 499, 500, 501	Арбузов В.С.	
Абрамов Г.Н.	11п	Аржанников А.В.	178, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 397, 398, 400, 401, 404, 405, 407, 410, 411, 412, 413, 415, 416, 418, 419, 420, 475
Абрамовский А.Ю.	422, 490	Аринштейн К.Э.	97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 115, 116, 117, 118, 119
Авдеева Е.Г.	11п	Астигеевич П.М.	11п
Авербух И.И.		Астрелин В.Т.	178, 179, 180, 181, 182, 184, 186, 189, 397, 400, 401, 402, 403, 404, 407, 408, 410
Авилов М.С.	289, 290, 505, 506	Аульченко В.М.	15, 39, 40, 42, 99, 103, 105, 107, 109, 110, 112, 114, 115, 117, 119, 131, 132, 133, 134, 143, 260, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 463, 477, 479, 481, 482, 5п, 11п, 13п, 14п, 46п, 47п
Авроров А.П.	397	Ахметов Т.Д.	167
Акбердин Р.Р.	421	Ахметшин Р.Р.	129, 235
Акимов А.В.		Ачасов М.Н.	42, 43, 44, 49, 194, 6п, 11п, 44п
		***	***
		Бабичев Е.А.	124, 125
		Багрянский П.А.	176, 177, 294, 383, 384, 393, 394, 395, 396, 445
		Бажанова В.В.	276
		Байер В.Н.	228, 229, 19п
		Бак П.А.	138, 139, 500

Балдин Е.М.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Бердюгин А.В.	42, 43, 11п, 44п
Барков Л.М.	19, 21, 22, 301, 308, 317, 318, 510, 511, 512, 513	Беркаев Д.Е.	192, 194, 363, 364, 365, 366, 6п, 11п
Баркова В.Г.	9п, 18п	Бехтенов Е.А.	
Барладян А.К.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Блинов А.Е.	15, 143, 195, 209, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 447, 5п, 46п, 47п
Барняков А.Ю.	15, 38, 77, 78, 79, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 11п, 46п, 47п	Блинов В.Е.	1, 6, 8, 9, 11, 15, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 143, 238, 245, 246, 248, 249, 250, 251, 278, 279, 286, 287, 295, 301, 315, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 11п, 37п, 38п, 39п, 40п, 41п, 42п, 46п, 47п
Барняков А.М.	15, 38, 77, 78, 79	Блинов М.Ф.	505, 506, 7п
Барняков М.Ю.	143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Бобров А.В.	15, 131, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Бару С.Е.	15, 120, 121, 122, 123, 124, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Бобровников В.С.	15, 38, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Баруткин В.В.	77, 78	Бобылев В.Б.	184
Барышев В.Б.		Богданчиков А.Г.	39, 40, 42, 194, 11п, 44п
Батазова М.А.	504	Богомягков А.В.	1, 6, 9, 11, 15, 49, 75, 77, 78, 79, 143, 195, 315, 319, 320, 326, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п, 51п
Баткин В.И.	178, 397, 407, 410	Болховитянов Д.Ю.	138, 506, 7п
Батраков А.М.	322, 407, 15п	Бондарев Д.В.	15, 143, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 47п
Баштовой Н.С.	308	Бондаренко А.В.	271, 282, 303
Баянов Б.Ф.	174, 175, 388, 390, 391, 392, 442	Бондарь А.Е.	11, 15, 74, 85, 86, 87, 90, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 107, 109, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 131, 143, 195, 241, 301, 337, 338, 339, 340, 344,
Бедный И.В.	15, 90, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п		
Безуглов В.В.			
Беклемишев А.Д.	171, 178, 180, 181, 381, 382, 383, 384, 396, 10п		
Беликов О.В.	148, 153, 157, 363, 364		
Белобородов К.И.	38, 42, 43, 11п, 44п		
Белобородова О.Л.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п		
Белов В.П.	371, 386, 442		
Белов С.Д.			
Белокриницкий С.А.	273		
Белых В.В.	179, 397		
Бельченко Ю.И.			

	345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п, 49п, 50п		108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 117, 118, 119
Борисов А.А.		Власенко М.Г.	421, 448, 455
Боронина М.А.	12	Воблый П.Д.	11, 195, 322, 361, 450, 460, 472, 474, 477, 499, 15п
Ботов А.А.	39, 40, 43, 11п		
Бочаров В.Н.		Волков В.Н.	146, 359, 360, 362, 473
Брагин А.В.	5А	Волосов В.И.	288
Брызгунов М.И.	357, 358	Воробьев А.И.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Брызгин А.А.	160, 367, 368, 495		
Бублей А.В.	356	Воронин Л.А.	160
Бузулуцков А.Ф.	74, 84, 85, 86, 87, 88, 352, 49п, 50п	Воскобойников Р.В.	154, 189, 386
		Востриков В.А.	
Бузыкаев А.Р.	15, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 38, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 77, 78, 79, 143, 238, 245, 246, 248, 249, 250, 251, 278, 279, 286, 287, 295, 337 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 37п-42п, 46п, 47п	Вячеславов Л.Н.	178, 179, 180, 181, 397, 398, 401, 407, 410
		* * *	* * *
Букин Д.А.	37, 39, 40, 42, 194, 11п, 44п	Габышев Н.И.	97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 118, 119
Бурдаков А.В.	175, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 189, 234, 390, 391, 392, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 407, 408, 409, 410, 413, 446	Гаврилов Н.Г.	460, 483
		Гальт А.А.	153, 158
Бурмасов В.С.	178, 179, 180, 181, 397, 407, 410	Гармаш А.Ю.	105, 107, 109, 111, 112, 115, 119
Быков Е.В.	154, 365, 500	Генцелев А.Н.	422, 484
* * *	* * *	Герасимов В.В.	448
Валькович А.С.	192, 194, 110	Гетманов Я.В.	361, 450, 472, 474
Васильев А.В.	39, 42, 43, 260, 11п, 44п	Глухов С.А.	314, 51п
		Глуховченко Ю.М.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Васильев Г.А.	500		
Васичев С.С.	144	Голковский М.Г.	90, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 204, 424, 425, 426, 427, 429, 430, 433, 494
Веремеенко В.Ф.	144, 499		
Весенев В.М.	38, 39, 11п	Голубев В.Б.	27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 39,, 41, 42, 43, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 238, 245, 248, 249, 250, 251, 278, 279, 286, 287, 295, 11п, 37п, 38п, 39п, 40п, 41п, 42п, 44п
Видюк С.Н.	307		
Винокуров Н.А.	145, 247, 264, 265, 266, 267, 271, 275, 282, 292, 303, 313, 361, 362, 417, 418, 421, 450, 455, 460, 469, 472, 473, 474, 477, 493	Голубенко Ю.И.	203, 428, 431, 432
		Гольденберг Б.Г.	188, 255, 417, 418,
Винокурова А.Н.	37, 99, 100, 105, 107,		

	422, 457, 484, 490		279, 286, 287, 295,
Гончаров А.Д.	140, 358		11п, 37п, 38п, 39п,
Горбовский А.И.	189		41п, 42п, 43п, 44п,
Горбунов В.А.	160, 367, 368		45п
Горнаков И.В.	367, 368	Дубров С.В.	299
Горникер Э.И.		Дубровин А.Н.	
Горчаков К.М.		Дудников А.В.	494
Грабовский А.В.	227, 17п, 35п, 36п	***	***
Гребенюк А.А.	85, 87, 308, 50п	Елисеев В.С.	188, 255, 457
Григорьев Д.Н.	124, 129, 130, 235, 350, 351	Еманов Ф.А.	
Гришняев Е.С.	397, 406	Епифанов Д.А.	90, 97, 99, 100, 105, 107, 109, 111, 112, 115, 116, 117, 118, 119, 9А
Грозин А.Г.	205, 206, 213, 214, 20п, 21п, 22п	Ерохин А.И.	147
Грошев В.Р.		***	***
Губин К.В.	291, 354, 443, 495, 496, 504, 505, 7п,	Жилич В.Н.	8, 15, 49, 75, 97, 98, 99, 100, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 117, 118, 119, 131, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Гудков Б.А.	500	Жиров О.В.	216, 217, 221, 438, 440, 25п, 28п, 29п
Гулевич В.В.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Жмуриков Е.И.	291, 354, 355, 443, 495, 506, 7п,
Гурко В.Ф.	10	Жуков А.А.	26, 328
Гуров Д.С.		Жуланов В.В.	15, 97, 99, 100, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 131, 132, 133, 134, 260, 337, 338, 339, 340, 477, 479, 481, 482, 5п, 13п, 14п, 46п, 47п
Гуров С.М.	322	Жупов А.А.	328
Гусев Д.В.	337, 338, 339, 340, 46п, 47п	Журавлев А.Н.	1, 5, 10, 15, 143, 314, 315, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п, 13А
Гусев Е.А.		***	***
Гусев И.А.		Заиграева Н.С.	361, 421, 450, 472, 474
***	***	Зайцев А.С.	329, 43п
Давидовский В.Г.		Запрыгаев И.А.	
Давыденко В.И.	172, 183, 371, 385, 386, 387, 391, 392	Зверев С.И.	
Дейчули П.П.	371, 386, 387	Зеваков С.А.	19, 20, 21, 22, 317, 318
Дементьев Е.Н.	361, 450, 460, 472, 474	Землянский И.М.	
Деревянкин Г.Е.	178, 397, 402, 408		
Диканский Н.С.	236, 240, 298, 497, 498, 499		
Димов Г.И.			
Димова Т.В.	39, 40, 42, 43, 11п, 44п		
Дмитриев В.Ф.	19, 21, 22, 218, 219, 220, 317, 318, 34п		
Довженко Б.А.	361, 450, 460, 472, 474		
Донин А.С.	183		
Дружинин В.П.	27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 39, 40, 42, 43, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 238, 245, 246, 248, 249, 250, 251, 278,		

Зинин Э.И.		Князев Б.А.	231, 247, 263, 264,
Золотарев К.В.	275, 464, 465, 477, 485		292, 313, 361, 421, 444, 448, 450, 452, 453, 455, 456, 460, 467, 472, 474
Зубарев П.В.	277	Кобец В.В.	153
* * *	* * *	Коваленко Н.В.	262
Иваненко В.Г.	397, 400, 401, 404	Коваленко Ю.В.	277, 445
Иваненко С.В.	277, 445	Коврижин Д.П.	43, 194, 11п
Иванов А.В.	369, 370	Козак В.Р.	148, 363, 364, 365, 366, 500, 12п
Иванов И.А.	178, 179, 180, 181,	Козлов М.Г.	215
Иванов И.А.	189, 397, 399, 400, 401, 404, 407, 410, 446	Козырев А.Н.	243, 309, 311
Иванцовский М.В.	178, 179, 180, 181	Козырев Е.В.	
Игнатов Ф.В.	305	Колесников Е.Ю.	176
Ильин И.В.		Колмогоров В.В.	151, 152, 386
* * *	* * *	Колобанов Е.И.	145, 361, 421, 450, 455, 460, 472, 474, 493
Казанин В.Ф.	129, 235, 307, 43п	Колокольников Ю.М.	262, 501
Кайран Д.А.		Кондаков А.А.	
Калинин П.В.	185, 186, 188, 397, 411, 412, 417, 418, 420, 475	Кондауров М.Н.	
Каминский В.В.	8, 49	Кондратьев В.И.	422, 484, 490
Кандауров И.В.	178, 397, 402, 403, 408	Кононов С.А.	15, 38, 77, 78, 79, 145, 306, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Капитонов В.А.	189, 386	Константинов Е.С.	140, 142
Каравдина А.В.	305	Константинов С.Г.	140, 175, 183, 189, 390
Кардапольцев Л.В.	11п	Кооп И.А.	11, 16, 18, 42, 43, 192, 194, 195, 196, 319, 323, 366, 11п, 44п, 45п
Кармакулов К.Г.		Корепанов А.А.	138
Карнаев С.Е.	1, 7, 15, 143, 315, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Коржавина М.С.	177, 394, 396
Карпов Г.В.	1, 15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 47п	Коробейников М.В.	495
Карпов С.В.	9, 15, 143, 315, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Король А.А.	39, 40, 42, 43, 194, 11п, 44п
Касаев А.С.	364, 502, 503	Корчагин А.И.	204, 428, 431, 432, 433, 434, 494, 495
Катков В.М.	228, 229, 19п	Косов А.В.	258, 477
Квашнин А.Н.	277, 407, 445	Кот Н.Х.	291, 354, 443, 506, 7п
Кенжебулатов Е.К.		Котельников И.А.	165, 166, 167, 168, 169, 170, 178
Киреенко А.В.	396	Котов К.Ю.	15, 36, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 43п, 46п, 47п
Кирилин Г.Г.	210	Кочеев А.А.	500
Кириллов К.Ю.	396	Кочергин М.С.	
Кирпотин А.Н.	192, 366, 11п	Кошуба С.В.	39, 40, 42, 43, 194, 11п, 44п
Киселев А.В.	9п	Кравченко Е.А.	15, 38, 77, 78, 79, 143,
Киселев В.А.	1, 5, 6, 9, 10, 11, 15, 143, 195, 315, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п		
Клюев В.Ф.	140, 244		

	306, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 11п, 46п, 47п	Лаврухин А.В.	204, 428, 431, 432, 494
Кравченко Е.В.	308	Лазаренко Б.А.	19, 20, 21, 317, 318
Краснов А.А.	23, 24, 25, 26, 328	Лапик Р.М.	
Кривенко А.С.	183, 392	Лебедев Н.Н.	154, 500, 506
Крутихин С.А.	7, 315, 362, 473	Лев В.Х.	272, 274
Крыгина А.С.	179, 499	Левичев А.Е.	322
Крючков А.М.	140	Легкодымов А.А.	262, 458, 486, 488, 489
Кубарев В.В.	145, 187, 231, 239, 270, 284, 285, 361, 411, 414, 415, 417, 418, 420, 421, 450, 455, 460, 471, 472, 474, 492, 493	Ли Р.Н.	210, 211, 212, 213, 223, 224
Кузин Г.И.	154	Лизунов А.А.	176, 396, 445
Кузнецов А.С.	173, 175, 183, 388, 390, 392, 397	Листопад А.А.	
Кузнецов Г.И.	367, 368, 504	Логачев П.В.	11, 137, 138, 139, 153, 195, 291, 354, 443,
Кузнецов С.А.	178, 185, 187, 188, 397, 398, 405, 407, 410, 411, 412, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 446, 471	Логашенко И.Б.	495, 505, 506, 7п, 3А
Кузьмин А.С.	90, 95, 97, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119	Лотов К.В.	304, 45п 162, 163, 164, 178, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380
Кузьминых В.С.	477	Лукин А.Н.	
Куклин К.Н.	178, 179, 180, 181, 189, 397, 399, 400, 401, 404, 407, 410	Лукин П.А.	
Куксанов Н.К.	203, 204, 428, 430, 431, 432, 494, 495	Лысенко А.П.	
Куликов В.Ф.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 499, 5п, 46п, 47п	Лях В.В.	192, 366, 11п, 44п 262, 458, 486, 488, 489
Купер К.Э.	254, 13п	* * *	* * *
Купер Э.А.	15, 143, 144, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 366, 5п, 46п, 47п	Макаров А.Г.	397
Купцов И.В.	144	Макаров А.Н.	173, 174, 175, 178, 390, 392
Куркин Г.Я.	1, 7, 11, 15, 143, 144, 195, 315, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 362, 473, 5п, 46п, 47п	Макаров И.Г.	150, 161, 367, 368, 473, 495
Кусков Р.Е.		Макаров М.А.	178, 397, 399, 400, 401, 404, 407, 410
Кутовенко В.Д.	260	Максимов В.В.	15,, 383, 396
* * *	* * *	Максимов Д.А.	143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
		Малышев В.М.	15, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 43п, 46п, 47п
		Малютин Д.А.	137, 138, 139
		Мамкин В.Р.	
		Мартин К.А.	38, 11п
		Мартышкин П.В.	322, 496, 504, 506
		Масленников А.Л.	15, 36, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 43п, 46п, 47п
		Матвеев Ю.Г.	14, 316
		Матвеев А.Н.	266, 267, 361, 421, 450, 455, 460, 472, 474, 493

Матвиенко Д.В.	145, 283	Немытов П.И.	203, 428, 431, 432, 495
Матяш Н.В.	367, 368	Нестеренко И.Н.	192
Медведев Л.Э.	145, 361, 421, 450, 455, 460, 472, 474, 493	Неустроев В.А.	
Медведко А.С.	6, 15, 143, 144, 147, 148, 153, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 363, 366, 477, 5п, 46п, 47п	Нехаев В.Е.	
Мезенцев Н.А.	257, 272, 274, 275, 454, 477, 480, 491	Никитин С.А.	1, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 15, 18, 49, 75, 143, 195, 314, 315, 319, 323, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 4п, 5п, 46п, 47п
Меклер К.И.	175, 178, 179, 180, 181, 183, 390, 397, 398, 399, 400, 401, 404, 405, 410, 446	Николаев И.Б.	1, 5, 6, 8, 9, 15, 49, 75, 143, 314, 315, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Мешков О.И.	1, 5, 10, 15, 143, 314, 315, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Николенко А.Д.	262, 476, 486, 488, 489
Мигинская Е.Г.	272, 274	Николенко Д.М.	19, 20, 21, 22, 317, 318, 458, 459, 510, 511, 512, 513
Мигинский С.В.	268, 269, 275, 282, 303, 361, 362, 450, 455, 460, 472, 473, 474, 477	* * *	* * *
Мильштейн А.И.	222, 223, 224, 225	Образовский А.Е.	39, 43, 11п
Мироненко Л.А.	361, 450, 455, 460, 472, 474, 477	Овчар В.К.	145, 361, 421, 450, 455, 460, 472, 474
Митянина Н.В.		Огурцов А.Б.	
Михайлов К.Ю.		Окунев И.Н.	11, 15, 143, 195, 322, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Мишагин В.В.	387	Онучин А.П.	15, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 38, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 77, 78, 79, 143, 238, 245, 246, 248, 249, 250, 251, 278, 279, 286, 287, 295, 306, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 11п, 37п-42п, 46п, 47п
Мишнев С.И.	1, 15, 19, 20, 21, 22, 143, 301, 317, 318, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Орешкин С.Б.	15, 90, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Моисеев Д.В.	277	Орлов И.О.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 43п, 45п, 46п, 47п
Морозов А.А.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п		
Морозов И.И.	340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п		
Мотыгин С.В.	7, 315		
Мурахтин С.В.	396		
Мучной Н.Ю.	1, 8, 10, 15, 49, 75, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 6п, 46п, 47п		
* * *	* * *		
Нейфельд В.В.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п		



Осипов А.А.	143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Пиндюрин В.Ф.	51п 255, 259, 262, 422, 457, 458, 459, 477, 484, 486, 488, 499, 490
Осипов В.Н.	7, 15, 19, 20, 21, 22, 155, 315	Пинженин Е.И.	396
Останин И.А.	365	Пирогов С.А.	
Острейко Г.Н.	144, 149, 150, 161, 367, 368	Подгорный Ф.В.	364, 502, 503
Отбоев А.В.	192, 194	Подобаев В.С.	150, 160, 161
* * *	* * *	Подыминогин А.А.	371, 406
Павлов В.М.	136, 153	Полосаткин С.В.	178, 179, 180, 181, 189, 397, 398, 399, 400, 401, 404, 405, 406, 407, 410, 446
Павлюченко С.В.	85, 87	Полуэктов А.О.	15, 97, 99, 100, 105, 107, 109, 111, 112, 113, 115, 117, 118, 119, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Панасюк В.М.	356, 357	Померанский А.А.	
Панфилов А.Д.	150, 160, 161, 367, 368	Попик В.М.	281, 302, 361, 421, 422, 449, 450, 455, 457, 460, 472, 474
Панченко В.Е.	258, 275	Попков И.Н.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 11п, 46п, 47п
Папушев П.А.	132	Попов А.С.	305, 307, 10А
Пархомчук В.В.	140, 141, 142, 244, 297, 356, 358	Попов В.Г.	316
Пахтусова Е.В.	39, 42, 43, 11п, 44п	Попов В.М.	39, 11п
Пачков А.А.	500	Попов С.С.	178, 179, 180, 181, 397, 398, 400, 401, 404, 405, 407, 410, 446, 8А
Пелеганчук С.В.	15, 76, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 43п, 46п, 47п	Попова Н.И.	226, 441, 1п, 2п
Переведенцев Е.А.	42, 192, 194, 11п	Поросев В.В.	124, 126
Персов Б.З.	361, 472, 474	Поступаев В.В.	178, 179, 180, 181, 397, 398, 399, 400, 401, 404, 405, 407, 410, 446
Пестов Ю.Н.	308	Присекин В.Г.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Пестриков Д.В.	236, 240, 252, 494	Приходько В.В.	176, 383, 396, 6А
Петренко А.В.		Пупков Ю.А.	11, 195
Петриченков М.В.	140	Пята Е.Э.	49, 6п
Петров В.В.	1, 15, 143, 144, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	* * *	* * *
Петров В.М.	7, 11, 195, 315, 322, 362, 473	Радченко В.М.	160
Петрова Е.В.	188, 255, 422, 484, 490	Разоренов В.В.	
Петрожицкий А.В.	142	Ракшун Я.В.	275, 485, 491
Пивоваров И.Л.		Растигеев С.А.	140, 141, 142, 244
Пивоваров С.Г.	16, 143, 305, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п		
Пилан А.М.	144		
Пилипенко Р.В.			
Пиминов П.А.	1, 5, 11, 15, 16, 17, 18, 143, 195, 196, 314, 320, 321, 323, 324, 326, 327, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п,		

Рачек И.А.	19, 20, 21, 22, 317, 318, 513	33, 34, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 238, 245, 248, 249, 250, 251, 278, 279, 286, 287, 295, 301, 11п, 37п-42п, 44п
Ращенко В.В.		
Рева В.Б.	140, 142, 356, 357, 358	
Редин С.И.	45п	
Резниченко А.В.	215, 435	
Репков В.В.	365, 499	
Ровенских А.Ф.	178, 179, 180, 181, 397, 398, 399, 400, 401, 404, 405, 407, 410, 446	Середняков С.С.
Роговский Ю.А.	192, 194, 366, 11п	145, 361, 421, 450, 455, 460, 472, 474, 493
Романов А.Л.	192, 194, 423, 11п	Сибиданов А.Л.
Ромашко Н.Д.	150, 161	305
Ротов Е.А.	7, 315	Сидоров А.В.
Рубан А.А.	15, 143, 243, 305, 307, 309, 311, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Силагадзе З.К.
Рувинский С.И.	149, 273, 322	42, 43, 45, 46, 47, 48, 11п, 44п
Руденко А.С.	205, 206, 209, 447	Симонов Е.А.
Рыбицкая Т.В.	322	1, 12, 15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Рыскулов Н.М.	307	Сингатулин Ш.Р.
* * *	* * *	Синицкий С.Л.
Савинов Г.А.	15, 124, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	178, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 388, 397, 398, 399, 400, 401, 403, 404, 405, 407, 410, 412, 446, 475
Савкин В.Я.	387, 407, 445	Синяткин С.В.
Садыков Р.Ш.	19, 22	1, 11, 15, 143, 144, 195, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Сазанский В.Я.		Скляров В.Ф.
Саликова Т.В.	145, 361, 421, 450, 455, 460, 472, 474, 493	397, 398, 405, 407, 446
Салимов Р.А.	200, 203, 204, 428, 431, 432, 494, 495	Сковородин Д.И.
Сандырев В.К.	143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	382, 383
Санин А.Л.	183	Сковпень К.Ю.
Седяров И.К.	144	15, 11п
Селиванов А.Н.	10, 309, 386	Сковпень Ю.И.
Селиванов П.А.		27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 41, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 143, 238, 245, 246, 248, 249, 250, 251, 278, 279, 286, 287, 295, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 37п-42п, 46п, 47п
Семенов А.В.	322, 495	Скоробогатов Д.Н.
Семенов А.М.	24, 25, 26, 328	358
Семенов Е.П.	499	Смалюк В.В.
Сеньков Д.В.	156	1, 2, 3, 7, 10, 11, 13, 15, 16, 143, 195, 196, 315, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Сеньков Р.А.		
Сербин В.И.		
Сердобинцев Г.В.	144, 149, 367, 368, 369, 370	
Середняков С.И.	27, 28, 29, 30, 31, 32,	

Соколов А.В.	337, 338, 339, 340, 46п, 47п	Тарарышкин С.В.	144, 500
Соколов В.В.	216, 217, 436, 437, 438, 25п, 26п	Тарнецкий В.В.	150, 161, 367, 368, 495
Солдаткина Е.И.	176, 384, 396, 7А	Таскаев С.Ю.	173, 174, 175, 183, 388, 389, 390, 391, 392, 442
Солодов Е.П.	27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 238, 245, 246, 248, 249, 250, 251, 278, 279, 286, 287, 295, 37п-42п, 396, 445	Таюрский В.А.	15, 143, 301, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Соломахин А.Л.	396, 445	Текутьев А.И.	40, 11п
Сорокин А.В.	386	Тельнов В.И.	15, 74, 143, 301, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Сорокин И.Н.	173, 175, 183, 371, 390, 392	Тенекеджи О.А.	154
Сорокина Н.В.	179, 397, 401, 407, 410	Терехов А.В.	374, 377
Сороколетов Д.С.	422	Терехов И.С.	163, 164, 225
Старосельцев Р.Ю.		Тимофеев И.В.	163, 164, 178, 374, 377
Старостенко А.А.	137, 138, 139	Титов В.М.	132, 253, 260, 309, 13п, 16п
Старостенко Д.А.		Тиунов М.А.	149, 150, 161, 189, 362, 367, 368, 369, 370, 371, 473, 495
Старостина Е.В.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Ткаченко В.О.	150, 160, 161
Степанов В.Д.	178, 182, 185, 186, 397, 400, 404, 412	Тодышев К.Ю.	15, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 79, 143, 238, 245, 246, 248, 249, 250, 251, 278, 279, 286, 287, 295, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 37п-42п, 46п-48п
Стешов А.Г.	144, 273	Токарев Ю.Ф.	158, 361, 450, 460, 472, 474
Страховенко В.М.	439, 27п	Толочко Б.П.	132, 133, 134, 135, 253, 258, 260, 451, 468, 477, 479, 481, 482, 483, 487, 13п, 14п, 16п
Ступишин Н.В.	371, 386, 387	Топорков Д.К.	19, 20, 21, 22, 317, 318
Судников А.В.	397, 399, 407, 410	Трибендис А.Г.	
Суляев Ю.С.	173, 175, 178, 179, 180, 181, 183, 388, 390, 392, 397, 398, 400, 404, 405, 407, 410, 446	Трунев Ю.А.	178, 179, 397, 402, 403, 408
Сурин И.К.	39	Тувик А.А.	367, 368
Суханов А.В.	322		
Суханов Д.П.			
Сухарев А.М.	15, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 43п, 46п, 47п		
Сухина Б.Н.			
Сыроватин В.М.	274, 499		
***	***		
Талышев А.А.	15, 143, 331, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 43п, 46п, 47п		

Тумайкин Г.М.	1, 9, 15, 143, 301, 315, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Чеблаков П.Б.	364, 366
* * *	* * *	Чекушкин Е.А.	40
Украинцев Ю.Г.	125, 126, 127, 128	Черепанов В.А.	80, 81
Усов Ю.В.	15, 37, 39, 40, 41, 90, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 107, 109, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 131, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 11п, 46п, 47п	Черепанов В.П.	6, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 365
Уткин А.В.	275, 477, 499	Черепков В.В.	90, 204
Ушаков В.А.	144, 149, 273, 477	Черепков В.Г.	
Фадеев С.Н.	204, 428, 431, 432, 494	Чернов В.А.	261, 485, 489, 491
Фадин В.С.	227, 17п, 35п, 36п	Чернов К.Н.	149, 367, 368
Факторович Б.Л.	160, 367, 368	Черняк В.Л.	32п, 33п
Фатькин Г.А.	15п	Чернякин А.Д.	
Федотов М.Г.	159, 407	Ческидов В.Г.	160, 267, 361, 367, 368, 450, 460, 472, 474
Федотович Г.В.	307	Чудаев В.Я.	175, 390, 9п, 18п
Филатов П.В.	39, 11п	Чупыра А.Г.	
Филипченко А.В.	144, 149, 273, 275, 477	Чуркин И.Н.	273, 477
* * *	* * *	* * *	* * *
Хавин Н.Г.		Шамакина Н.С.	18п
Хазин Б.И.	305, 307, 308, 45п	Шамов А.Г.	1, 6, 8, 15, 49, 75, 143, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 43п, 46п, 47п
Харламов А.Г.	39, 43, 11п	Шатилов Д.Н.	1, 11, 15, 16, 17, 18, 143, 195, 196, 321, 323, 324, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Харламова Т.А. (Козлова Т.А.)	143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п	Шатунов П.Ю.	192, 194, 363, 366, 11п
Хацимовский В.М.	23п, 24п, 30п, 31п, 2А	Шатунов Ю.М.	42, 43, 190, 191, 192, 193, 194, 366, 11п, 44п, 45п
Хильченко А.Д.	10, 277, 407, 445	Шварц Б.А.	15, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 115, 117, 118, 119, 143, 337, 338, 339, 340, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Холопов М.А.	485, 491, 505, 506	Шварц Д.Б.	192, 194, 11п
Хриплович И.Б.	205, 206, 207, 208, 232, 233	Шведов Д.А.	1, 14, 144, 316, 12А
Хрущев С.В.	272, 274	Шебалин В.Е.	90, 105, 106, 107, 109, 111, 112, 113, 115, 117, 119
* * *	* * *	Шевченко О.А.	265, 266, 267, 361, 421, 450, 455, 460, 469, 472, 474
Царегородцев С.М.	129, 235	Шеромов М.А.	477, 483
Цидулко Ю.А.	176, 294, 393, 3п		
Цуканов В.М.	272, 274		
Цура М.А.	397		
Цыганов А.С.	138, 500		
* * *	* * *		
Чакин И.К.	431, 494		
Чащин М.С.	170, 171, 381, 384, 10п		

Шестаков Ю.В.	19, 20, 21, 22, 317, 318	Щеглов М.А.	145, 361, 421, 449, 450, 455, 457, 460, 472, 474, 493
Шехтман Л.И.	74, 131, 132, 133, 134, 135, 466, 477, 479, 481, 482, 13п, 14п	Щеголев Л.М.	144 * * *
Широков В.В.	183, 391	Эйдельман С.И.	15, 80, 81, 82, 83, 183, 337, 338, 339, 340, 341, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п
Шиховцев И.В.	371, 406	Эйдельман Ю.И.	296, 8п * * *
Шичков Д.С.		Юдин В.Д.	144
Шиянков С.В.	495, 505, 506	Юдин Ю.В.	235, 243, 309, 310, 311
Шкаруба В.А.	272, 274, 477, 480, 499	Юшков А.Н.	15, 129, 143, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 5п, 46п, 47п * * *
Шошин А.А.	178, 179, 180, 181, 397, 401, 407, 410		
Штарклев Е.А.	160	Яскина Т.А.	
Шголь Д.А.	43, 11п		
Шубин Е.И.	1, 6, 9, 143, 315, 344, 345, 346, 347, 348, 349		
Шукаев А.Н.	11п		
Шульженко Г.И.	371, 387 * * *		

---

УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА СО РАН

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ

2009

Обложка Е.Д. Бендер

Ответственный за выпуск А.В. Васильев  
Работа поступила 1.02. 2010 г.

---

Сдано в набор 24.03. 2010 г.  
Подписано в печать 26.03. 2010 г.  
Формат 60x90 1/16 Объем 19,0 печ.л., 15,0 уч.-изд.л.  
Тираж 200 экз. Бесплатно. Заказ № 7

---

Обработано на РС и отпечатано  
на ротапинтере «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,  
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11