

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМ. Г.И. БУДКЕРА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ГODOVOЙ ОТЧЕТ
2017**

НОВОСИБИРСК 2018

Оглавление

Введение	7
1. Физика элементарных частиц	15
1.1. Детектор КМД-3	15
1.2. Детектор СНД	17
1.2.1. Основные работы в 2015 году	17
1.2.2. Подготовка к новому эксперименту	17
1.2.3. Анализ данных СНД.....	17
1.3. Детектор КЕДР	21
1.3.1. Калибровка системы регистрации рассеянных электронов	21
1.3.2. Физические результаты.....	23
1.3.3. Двухфоновая физика	26
1.3.4. Анализ процессов $J/\psi \rightarrow \Upsilon h^+ h^-$	27
1.3.5. Измерение R в диапазоне $2E = 1.84 \div 3.05$ ГэВ	28
1.3.6. Измерение относительной вероятности распада $J/\psi \rightarrow \Upsilon \eta_c$	29
1.3.7. Тестовый пучок электронов комплекса ВЭПП-4М	29
1.3.8. Лазерный поляметр	31
1.4. Криогенные и газовые лавинные детекторы.....	33
1.5. Эксперимент BABAR	35
1.6. Участие в эксперименте АТЛАС на Большом Адронном Коллайдере	36
1.7. Эксперимент Belle	40
1.7.1. Основные результаты	40
1.7.2. Анализ данных	40
1.7.3. Модернизация детектора	43
2. Электро- и фотоядерная физика	49
2.1. Эксперименты с внутренними мишенями	49
3. Теоретическая физика	55
3.1. Теоретическая физика	55
3.2. Сильные взаимодействия	56
3.3. Гравитация	57
3.4. Космология	57
3.5. КХД	58
3.6. КЭД	61
4. Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез	65
4.1. Стабилизация плазмы при мощном локализованном ЭЦР-нагреве плазмы на установке ГДЛ	65
4.2. Теория плазменного кильватерного ускорения	70
4.3. Теория плазмы	71
4.4. Инжекторы пучков быстрых атомов и ионов	71
4.5. Работы на комплексе ГОЛ-3	74
4.5.1. Комплекс ГОЛ-3: общее описание	74

4.5.2. Эксперименты на установке ГОЛ-3Т	74
4.5.3. Использование <i>in situ</i> методов при исследовании вольфрама тепловым ударом	76
4.5.4. Исследования на канале СИ «Плазма»	77
4.5.5. Экспериментальное исследование физических подходов к увеличению параметров тепловой нагрузки, создаваемой мультимегаваттным электронным пучком на металлической мишени	79
4.5.6. Статус работ по проекту ГОЛ-NB	80
4.5.7. Заключение по результатам ГОЛ-3	82
4.6. Работы на установке ЭЛМИ	83
4.7. Работы на ловушке с геликоидальным полем СМОЛА	85
4.7.1. Введение	85
4.7.2. Физический запуск установки СМОЛА.....	85
4.7.3. Заключение	87
5. Установки со встречными электрон-позитронными пучками	91
5.1. Работа комплекса ВЭПП-2000 в 2017 году	91
5.1.1. Набор интеграла светимости в диапазоне энергий 150-1000 МэВ	91
5.1.2. Развитие средств диагностики пучков	94
5.1.3. Изучение эффектов встречи круглых пучков	96
5.2. Ускорительный масс-спектрометр	97
5.3. Электронное охлаждение	98
5.4. Создание линейного индукционного ускорителя ЛИУ-20.....	100
5.5. Разработка клистрона	103
5.6. Разработка мощных электронных пучков для электронно-лучевых технологий	107
5.6.1. Распределение рабочего времени	107
5.6.2 Эксперименты с детектором КЕДР	108
5.6.3. Эксперименты на пучках СИ на ВЭПП-3 и ВЭПП-4М	109
5.6.4. Эксперимент ДЕЙТРОН на ВЭПП-3	111
5.7. Дипольный магнит для CR (FAIR Германия)	114
5.8. Вакуумные системы	115
5.9. Ускорительный комплекс ВЭПП-4	117
5.9.1. Введение	117
5.9.2. Работа ВЭПП-4 с Инжекционным комплексом	118
5.9.3. Статус экспериментальных программ	119
5.9.4. Новая гибридная змейка для генерации СИ	121
5.9.5. Модернизация ВЧ-системы накопителя ВЭПП-4М	123
5.9.6. Модернизация системы управления комплекса	124
5.9.7. Новая система измерения положения пучка	127
5.9.8. Системы оптической диагностики пучка	129
5.9.9. Модернизация системы измерения энергии коллайдера ВЭПП-4	130
6. Синхронное излучение и лазеры на свободных электронах	133
6.1. Работа на пучках синхронного излучения и терагерцового излучения	133
6.1.1. Канал СИ №2 накопителя электронов ВЭПП-3	133
6.1.2. Канал СИ №6 накопителя электронов ВЭПП-3	134
6.1.3. Канал СИ №8 накопителя электронов ВЭПП-4М	140
6.1.4. Станция рентгенофлуоресцентного элементного анализа ВЭПП-3	142

6.1.5. Канал СИ №4 накопителя электронов ВЭПП-3	152
6.1.6. Станция детонации ВЭПП-3 и станция динамических процессов ВЭПП-4М	163
6.1.7. Канал СИ №8, ВЭПП-3	165
6.1.8. Станция «Рентгеновской микроскопии и томографии», ВЭПП-4М	176
6.1.9. Модернизация станции СИ «Рентгеновской микроскопии и томографии», ВЭПП-3	177
6.2. Специализированная электроника детекторов для исследования быстропротекающих процессов с использованием рентгеновского СИ	180
6.2.1. Микросхема DMXG64 для модернизации газовых детекторов DIMEX.....	180
6.2.2. Микросхема DMXG64 для прототипа кремниевого детектора.....	180
6.2.3. Модернизация электроники детектора СНД	181
6.2.4. Стенд для изучения сцинтилляционных кристаллов	181
6.2.5. Участие в международных проектах	182
6.3. Детекторы рентгеновского излучения	182
6.4. Работа с пучками терагерцового излучения	183
6.4.1. Изучение механизмов потерь электронов в ускорителе-рекуператоре	183
6.4.2. Создание системы диагностики электронного пучка по синхротронному излучению	184
6.4.3. Обеспечение работы пользователей терагерцового излучения	185
6.4.4. Разработка комплексной системы измерения параметров излучения в диапазоне 90-240 мкм	186
6.5. Разработка и создание специализированных генераторов СИ	193
 7. Радиофизика и электроника	 197
7.1. Разработка аппаратуры и систем автоматизации физических исследований	197
7.1.1. Работы по системам управления будущих установок	197
7.1.2. Участие в создании комплекса «НИКА»	199
7.1.3. Электроника для экспериментов с синхротронным излучением	200
7.1.4. Модернизация систем управления действующих установок и стендов	201
7.2. Высокочастотная система коллайдера NICA	202
7.2.1. Алгоритмы работы ВЧ системы коллайдера	202
7.2.2. Барьерная система ВЧ	202
7.2.3. Система 22-ой гармоники (ВЧ2)	203
7.2.4. Система 66-ой гармоники (ВЧ3)	204
7.3. Новая ВЧ система накопителя-охладителя инжекционного комплекса	204
7.4. Новая ВЧ пушка для Новосибирского ЛСЭ	207
7.5. Модернизация ВЧ системы комплекса ВЭПП-4М.....	207
 8. Мощные электронные ускорители	 211
8.1. Ускорители типа ИЛУ	211
8.1.1. Поставки ускорителей типа ИЛУ.....	211
8.1.2. Разработка проекта новой системы выпуска электронного пучка для ускорителя ИЛУ-10	212
8.1.3. Облучательный Центр ИЯФ-НГУ	212
8.1.4. Разработка новых радиационных технологий	213
8.2. Промышленные ускорители электронов серии ЭЛВ и их новые технологические применения	215
8.2.1. Поставки ускорителей	215
8.2.2. Изменения в элементной базе	216
8.2.3. Модифицированное устройство для вывода в атмосферу сфокусированного пучка электронов...	216

8.2.4. Эксперименты по разработке коррозионностойкого реактора	218
Библиография	219
Список публикаций за 2017.....	219
Препринты 2017.....	290
Авторефераты 2017.....	290
Соглашения о сотрудничестве	292
Научное руководство ИЯФ СО РАН	295
Члены Российской академии наук	295
Учёный совет	295

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. В 2015 году директором Института стал академик РАН, доктор физико-математических наук Павел Владимирович Логачев.

В настоящее время ИЯФ СО РАН – один из самых крупных академических институтов страны (более 2800 сотрудников). Среди 416 научных сотрудников Института – 10 академиков и членов-корреспондентов РАН, 62 доктора и 204 кандидатов наук. Особенностью ИЯФ является наличие крупного экспериментального производства (около 1000 человек) с высоким уровнем технического и технологического оснащения. Институт ведет активную работу по подготовке научных и инженерно-технических кадров высшей квалификации. ИЯФ является базовым Институтом для семи кафедр физического факультета НГУ и физико-технического факультета НГТУ, на которых обучается около 200 студентов. В аспирантуре ИЯФ, НГУ и НГТУ обучается более 60 человек.

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

Основу исследовательской инфраструктуры Института составляют уникальные научные установки и стенды (УНУ). С использованием УНУ выполняется большинство научных проектов Института, проводится большое количество совместных исследований в рамках научно-технического сотрудничества с ведущими российскими и международными научными организациями и университетами. На базе УНУ работают три центра коллективного пользования (ЦКП).

Шесть объектов научной инфраструктуры Института получали поддержку в рамках Федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса" (ФЦПР) и индексируются в национальном реестре объектов научной инфраструктуры Российской Федерации на сайте skp-rf.ru.

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):
 1. первые эксперименты по электрон-электронному взаимодействию (одновременно со Принстон-Стэнфордскими работами), 1965 год,
 2. первые в мире эксперименты по электрон-позитронному взаимодействию (1967 год),
 3. первое в мире наблюдение процесса двойного тормозного излучения (1967 год),
 4. пионерские работы по двухфотонной физике;
- исследование характеристик векторных мезонов на установках со встречными электрон-позитронными пучками ВЭПП-2 и ВЭПП-4 (с 1967 года);
 - открытие явления множественного рождения адронов в электрон-позитронной аннигиляции;
 - прецизионное измерение вклада адронной поляризации вакуума в величину аномального магнитного момента мюона для одного из наиболее чувствительных тестов Стандартной модели, проводящегося совместно с Брукхевенской национальной лабораторией (1984-2005 годы);
 - разработка метода резонансной деполяризации для прецизионного измерения масс элементарных частиц, достижение рекордной точности измерения масс К-, ро-, омега-, фи-, пси- мезонов и ипсилон-мезонов, (1975-2004 годах);
 - открытие эффектов несохранения четности в атомных переходах, подтверждение единой теории электрослабого взаимодействия, (1978 год);
 - разработка метода проведения экспериментов на внутренних сверхтонких мишенях в накопителях (с 1967 года) и исследование электромагнитной структуры дейтрона в поляризационных экспериментах (с 1984 года);
 - разработка метода получения интенсивных потоков меченых гамма-квантов высокой энергии на основе использования обратного комптоновского рассеяния (1980-1982 годы); 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);
 - 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, (с1959 года);
- первое вычисление перенормировки заряда в теории Янга-Миллса, (1969 год);
- разработка метода правил сумм КХД (с1979 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 год);
- 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).
- Построена теория рождения электрон-позитронных пар при столкновении ультра-релятивистских тяжёлых ядер (2007 год).
- Изучено расщепление фотона в лазерной волне и влияние сильной электромагнитной волны на основные процессы квантовой электродинамики в электрических полях тяжёлых атомов (2007 год).
- Построена теория излучения фотона в процессе альфа распада тяжёлых ядер, что позволило правильно описать имеющиеся многочисленные экспериментальные данные (2008 год).
- Изучена кинетика возникновения поляризации при взаимодействии неполяризованного пучка антипротонов с поляризованной мишенью (2008 год).
- Предложена модель рождения молекул, состоящих из мезонов, при распаде высоко-возбуждённых ипсилон мезонов (2011 год).
- Разработан новый метод аналитического вычисления много-петлевых амплитуд, что кардинально увеличило возможность повышения точности вычисления радиационных поправок (2012 год).
- Разработан метод квазиклассических функций Грина волновых уравнений для заряженных частиц во внешних полях произвольных конфигураций (2015 год).
- Получено количественное описание аномального поведения сечений рождения нуклон-антинуклонных пар и множественного рождения мезонов вблизи порога рождения нуклон-антинуклонных пар в e^+e^- аннигиляции (2016 год).

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, магнискон), 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 сильнопольевой импульсной магнитной оптики (X-линзы, литиевые линзы), используемых в настоящее время в различных лабораториях, (с 1962 года);
- изобретение и экспериментальная проверка метода перезарядной инъекции, применяемого в настоящее время на всех крупных протонных ускорителях, (1960-1964 годы);
- теоретические и экспериментальные исследования получения поляризованных пучков и спиновой динамики в коллайдерах и ускорителях, концептуальная разработка и создание высокоэффективных спиновых ротаторов и «сибирских змеек» для ряда ускорительных комплексов, (1966-1995 годы);
- теоретические и экспериментальные исследования стохастической неустойчивости и "эффектов встречи", ограничивающих светимость установок со встречными пучками, (с 1966 года);
- 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, (с 1969 года);
- 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) "классической" открытой магнитной ловушки (пробкотрона) для удержания горячей плазмы и непосредственное измерение времени жизни в ней (1959 год);

- изобретение и разработка новых схем открытых ловушек: многопробочной, амбиполярной, газодинамической; экспериментальное осуществление многопробочного удержания плазмы с субтермоядерными параметрами на ловушке ГОЛ-3; создание открытых ловушек с вращающейся плазмой с уникальными параметрами; экспериментальное осуществление стабилизации МГД неустойчивостей в аксиально-симметричной газодинамической ловушке на установке ГДЛ; получение на установке ГДЛ плазмы с отношением давления плазмы к давлению магнитного поля 0,6; получение на установке ГДЛ электронной температуры ~ 1 кэВ, рекордной для квазистационарных магнитных ловушек (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, (с 1969 года);
- предложение и разработка концепции мощного термоядерного источника нейтронов для материаловедения на основе открытой ловушки, (с 1987 года);
- теоретическое предсказание ленгмюровского коллапса (1972 год), экспериментальное обнаружение сильной ленгмюровской турбулентности и коллапса ленгмюровских волн в магнитном поле, (1989-1997 года);
- Создание серии уникальных мощных инжекторов пучков атомов водорода для исследования высокотемпературной плазмы для ряда крупных установок, (с 1997 года).

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

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

На протяжении последних 30 лет ИЯФ СО РАН активно использовал возможности финансирования

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

ИЯФ отличается широкое многолетнее международное сотрудничество с большинством крупных зарубежных и международных центров. Ярким примером такого сотрудничества является участие ИЯФ в крупнейшем международном проекте современности – создании Большого Адронного Коллайдера в Европейском Центре Ядерных Исследований (CERN, г. Женева). В рамках этого сотрудничества ИЯФ разработал, изготовил и поставил в ЦЕРН уникальное высокотехнологичное оборудование стоимостью более 100 миллионов швейцарских франков.

ИЯФ работает над рядом крупных проектов, реализуемых в России, в числе которых установки исследовательской инфраструктуры класса «мегасайенс»: новый источник синхротронного излучения ИССИ-4 в НИЦ "Курчатовский Институт" (Москва), новый ускорительный комплекс NICA в ОИЯИ (Дубна), радиографическое оборудование для исследований оборонного значения для ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ" (Снежинск).

В 2017 году в рамках государственного задания Институт выполнял 29 "базовых" проектов в рамках 8 программ по двум направлениям Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, а также 6 проектов в рамках программ Президиума РАН и Отделения физических наук РАН. В 2017 году в рамках ФЦПН 2014-2020 годов Министерством образования и науки России поддержаны Программа развития и модернизации УНУ "Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000" и Программа развития Центра коллективного пользования «Сибирского Центра синхротронного и терагерцового излучения», четыре проекта поддержаны Российским научным фондом.

Ежегодно сотрудники Института представляют более 200 докладов на международных и российских конференциях, в последние годы публикуется более 800 статей в ведущих российских и зарубежных научных журналах, издаются монографии и учебные пособия. Согласно материалам, опубликованным в

обзоре "Библиометрические показатели Российской науки и РАН" (Вестник РАН, июнь 2009 года, том 79, № 6), количество ссылок на работы ИЯФ СО РАН за 1997- 2007 годы, учитываемых в авторитетной международной базе данных ESI, составляет 28267. В соответствии с данными обзора, это значение является максимальным результатом среди всех институтов Российской академии наук. Четверо сотрудников Института являются лауреатами специальной премии издательства Elsevier как самые цитируемые авторы на постсоветском пространстве в области естественных наук.

Важнейшими достижениями института за 2017 год Учёный Совет ИЯФ признал следующие результаты:

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

1. Физиками ИЯФ СО РАН в рамках коллаборации BABAR (SLAC, США) завершен цикл работ по изучению процессов электрон-позитронной аннигиляции в пару каонов и пару пионов методом радиационного возврата. В диапазоне энергии от порога до 4.0 ГэВ измерено шесть сечений для процессов $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$, $K^0_S K^+ \pi^0$, $K^0_S K^0_L \pi^0 \pi^0$, $K^+ K^-\pi^0 \pi^0$, $K^0_S K^0_L \pi^+ \pi^-$, и $K^0_S K^0_S \pi^+ \pi^-$. Причем последние пять сечений измерены впервые. В промежуточном состоянии $\phi(1020)f_0(980)$ открыт новый резонанс, вошедший в таблицы элементарных частиц как $\phi(2175)$.

2. В ИЯФ СО РАН в эксперименте с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М измерены электронные ширины J/ψ и $\psi(2S)$ - мезонов. Электронная ширина J/ψ -мезона измерена с лучшей в мире точностью.

3. В эксперименте с детектором КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000 впервые измерено полное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \rho^+\rho^-\rho^0\eta$ в области энергий до 2 ГэВ в системе центра масс и изучена динамика этого процесса.

4. В эксперименте с детектором КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000 выполнено прецизионное измерение ряда сечений вблизи $\rho(1020)$ мезона: $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$, K^+K^- , $\rho^+\rho^-\rho^+\rho^-$, проведен детальный анализ результатов с учетом кулоновского вклада и интерференции с $\rho(770)$ и $\omega(782)$ мезонами. Впервые модельно-независимо выделен и измерен изовекторный вклад в рождение пары каонов.

5. Построена теория, которая количественно объяснила аномальное поведение вероятностей распадов ψ и ψ' мезонов на протон-антипротонную пару и фотон (или омега-мезон) вблизи порога рождения протон-антипротонной пары.

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

1. На коллайдере ВЭПП-2000 ИЯФ СО РАН достигнута рекордная светимость $4 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ в области энергий около 1000 МэВ в пучке в односустковом режиме.

2. В ИЯФ СО РАН на накопителе ВЭПП-4 создан экспериментальный стенд для радиационного воздействия на онкологические ткани лабораторных животных с использованием микропучкового облучения. Высокая яркость излучения обеспечена установкой 9-ти полюсного вигглера на накопитель.

3. Создан и запущен 9-ти полюсный вигглер, который позволил в 30 раз увеличить интенсивность синхротронного излучения с энергией 100 кэВ при работе ускорительного комплекса ВЭПП-4 на энергии электронов 4 ГэВ.

4. Разработан прототип кулера на рекордную энергию 8 МэВ для Университета Майнца (Германия) и изготовлена первая секция прототипа.

5. Для накопителя-охладителя Инжекционного комплекса ВЭПП-5 разработан и изготовлен новый резонатор 1-й гармоники на частоту 11 МГц. Успешный запуск резонатора позволил увеличить зарядовую производительность электронов и позитронов в 2,5-3 раза, что существенно улучшает эффективность работы двух коллайдеров ИЯФ СО РАН: ВЭПП-4М и ВЭПП-2000.

6. В ИЯФ СО РАН был создан прототип сверхпроводящего ондулятора нового типа с нейтральными полюсами.

7. В рамках международного сотрудничества по созданию Европейского Рентгеновского лазера на свободных электронах (XFEL) в ИЯФ СО РАН было разработано, изготовлено и на территории DESY силами сотрудников Института запущено в эксплуатацию уникальное высокотехнологическое оборудование, что позволило в 2017 году провести успешный физический пуск XFEL и начать работу на пользователей.

8. В ИЯФ СО РАН на пучках синхротронного излучения было исследовано разработанное ИХТТМ СО РАН по заданию Минздрава РФ противоязвенное лекарство Витридинол на основе трикалийцитрата висмута. Обнаружено, что в отличие от общепринятого мнения о присутствии ионов висмута в желудочном соке, висмут находится внутри сложного молекулярного комплекса размером несколько нанометров. Этот результат позволяет улучшить эффективность Витридинола за счёт совершенствования структуры и состава обнаруженного комплекса.

В области физики плазмы:

1. В экспериментах на установке ГДЛ с помощью управления потенциалом плазмы в области локального поглощения СВЧ-мощности удалось подавить низкочастотные колебания и поддерживать стабильное удержание плазмы в течение всего периода дополнительного ЭЦР-нагрева.

2. С использованием активной стабилизации энергии получен пучок атомов водорода с эквивалентным током 4 А, энергией 50 кэВ со стабильностью лучше 0,1%, что является рекордным достижением. Инжектор пучка предназначен для активной диагностики плазмы на установке ГДЛ.

3. Впервые получен пучок отрицательных ионов

водорода с энергией 117 кэВ и током 1,3 А.

4. В рамках контракта изготовлена и запущена система инъекции нейтральных пучков с полной мощностью более 10 МВт при энергии 15 кэВ и длительности 30 мс.

5. Осуществлен успешный запуск винтовой ловушки, предназначенной для экспериментов по исследованию нового метода снижения продольных потерь плазмы.

6. Предложен и теоретически обоснован эффективный способ генерации узкополосного терагерцового излучения при помощи встречных кильватерных волн в плазме.

7. Решена задача о самосогласованном радиальном равновесии релятивистского пучка заряженных частиц в собственном кильватерном поле в плазме.

8. При экспериментальном моделировании импульсных тепловых нагрузок, ожидаемых для экспериментального термоядерного реактора, удалось зарегистрировать динамику эрозии поверхности материала при уровнях нагрева до порога плавления вольфрама, и впервые обнаружить факт большой временной задержки образования трещин, превышающей ожидаемое время достижения вязкохрупкого перехода на 3-4 порядка величины.

В области *инновационной деятельности* (реализация наиболее значительных законченных в отчетном году исследований и разработок):

1. Впервые предложен, разработан и исследован метод наплавки коррозионностойких элементов, таких как тантал, ниобий, цирконий на титановую основу с применением электронного пучка, выведенного в атмосферу. Получен двухслойный материал в виде титановых листов с легированным поверхностным слоем толщиной 2 мм, из которого можно изготавливать особо коррозионностойкие реакторы химических производств. Предлагаемая технология легирования титановых листов не имеет аналогов в России и за рубежом.

В 2017 году три сотрудника Института: директор, академик РАН Павел Владимирович Логачев, заведующий сектором научного отдела Григорьев Дмитрий Николаевич и ведущий инженер-электроник Боймельштейн Юрий Миронович были награждены Медалью Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом".

Более 100 сотрудников Института были удостоены Почётными грамотами Российской академии наук за значительный вклад в развитие фундаментальных и прикладных исследований, за многолетний добросовестный труд и в связи с 60-летием СО РАН, Почётными грамотами Сибирского отделения Российской академии наук за плодотворную научно-техническую деятельность, достигнутые успехи в научно-методическом руководстве, высокое профессиональное мастерство, многолетний добросовестный труд и в связи с 60-летием СО РАН и Юбилейной медалью "80 лет Новосибирской области" в связи с 80-летием Новосибирской области.

В отчетном году в Институте продолжали работу три диссертационных Совета с правом приема докторских (кандидатских) диссертаций. Всего проведено 10 заседаний, на которых были защищены 3 докторских и 7 кандидатских диссертаций.

Для учащихся, студентов, преподавателей школ и вузов, сотрудников других организаций и гостей Института было проведено около 100 экскурсий по установкам ИЯФ, которые посетило около 2500 человек, проведены выездные лекции в новосибирских школах.

1

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ
ЧАСТИЦ

1.1. ДЕТЕКТОР КМД-3

В начале 2017 года детектор КМД-3 был полностью подготовлен к набору экспериментальных данных.

1. Проведены регламентные работы по подготовке криогенной системы детектора к работе.
2. Проведены регламентные работы по подготовке электроники детектора к работе.
3. Проведен цикл электронных калибровок систем детектора.
4. Установлена система продувки торцов дрейфовой камеры сжатым воздухом
5. Полностью введены в строй новая времяпролетная система детектора КМД-3 и новая электроника мюонной системы детектора

В течение 2017 года произведено два набора экспериментальной статистики.

1. С 26 января по 3 июля 2017 года просканирована область энергий от 1,282 ГэВ до 2,007 ГэВ в системе центра масс. Общий набранный интеграл светимости составил более 50 1/пб. Особое внимание было уделено области энергий порогов рождения протон-антипротонных и нейтрон-антинейтронных пар, которая была просканирована с малым шагом с общим интегралом светимости 14 1/пб.
2. В ноябре 2017 года началось сканирование области энергий ниже 1 ГэВ в системе центра масс. В течение 2017 года была просканирована область энергий от 0,74 ГэВ до 1 ГэВ с общим интегралом светимости более 11 1/пб. На рисунке 1.1.1 показан график набора светимости на коллайдере ВЭПП-2000 в эксперименте с детектором КМД-3 в 2017 году.

3. В 2016 году в детектор КМД-3 была установлена новая времяпролетная система, состоящая из 180 сцинтилляционных счетчиков с регистрацией света с помощью спектросмещающего волокна и кремниевых ФЭУ (КФЭУ). В 2017 году была запущена электроника системы и произведена интеграция в общую систему сбора данных детектора. По данным, набранным в ходе первого сканирования 2017 года (область энергий выше 1 ГэВ в системе центра масс) была проведена калибровка системы. Для калибровки использовались события Баба-рассеяния $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ и события $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. Для каждого канала были получены все параметры, от которых зависит полученное временное разрешение: коэффициент усиления и нулевое положение, время-амплитудная зависимость, скорость распространения сигнала по волокну, средняя задержка сигнала, цена канала ВЦП. На рисунке 1.1.2 показано временное разрешение для каждого счетчика времяпролетной системы. Свет с каждого счетчика регистрируется с двух сторон, поэтому показано временное разрешение, получаемое при использовании данных только с КФЭУ, установленных с правой или с левой стороны счетчика, или при использовании данных с обоих КФЭУ. Для событий Баба-рассеяния, с учетом срабатывания нескольких счетчиков, получено временное разрешение около 0,35 нс и эффективность 98%.

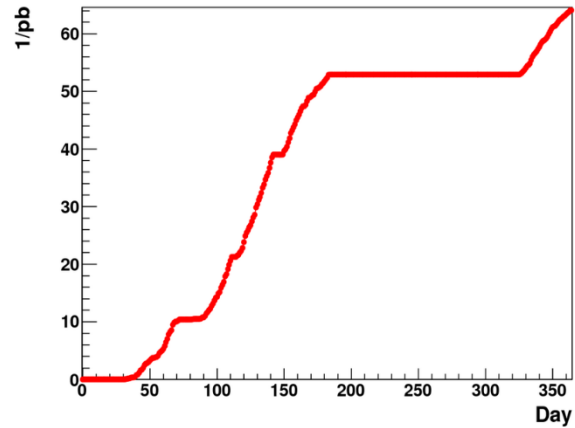


Рис. 1.1.1 График набора светимости на коллайдере ВЭПП-2000 в эксперименте с детектором КМД-3 в 2017 году.

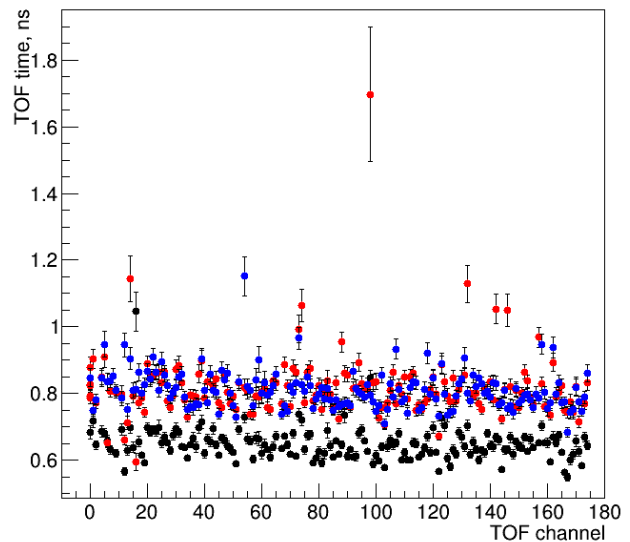


Рис. 1.1.2. Временное разрешение отдельных каналов новой времяпролетной системы КМД-3. Синие и красные точки – используются данные только с одного КФЭУ, правого и левого соответственно, черные точки – используются данные с обоих КФЭУ.

По ранее разработанным алгоритмам была проведена калибровка всех основных систем детектора по данным, набранным в 2017 году:

- 1) дрейфовой камеры,
- 2) совместная энергетическая калибровка жидкокислородного калориметра и цилиндрического калориметра на основе кристаллов CSI,
- 3) калибровка геометрического положения торцевого калориметра,
- 4) калибровка относительного расположения жидкокислородного калориметра и дрейфовой камеры,
- 5) калибровка Z-камеры.

В 2017 году было проведено улучшение алгоритмов реконструкции в двух системах детектора

1. При реконструкции треков в дрейфовой камере добавлена возможность использования фильтра Калмана вместо простого метода наименьших квадратов при определении параметров трека. Это позволило в несколько раз уменьшить «хвосты» распределений, возникающие из-за рассеяния частиц в веществе дрейфовой камеры.

2. Проведена значительная модернизация алгоритма реконструкции координат кластеров в Z-камере, включающая уточнение расположения отдельных каналов, учет неработающих каналов и др. Благодаря модернизации удалось достичь проектной систематической точности измерения продольной координаты.

Продолжилось развитие алгоритма идентификации частиц по профилю их энергосодержания в жидкоксенонном калориметре КМД-3.

Был проведен предварительный анализ данных, набранных в первом сканировании 2017 года. В частности, были получены предварительные результаты по измерению энергетической зависимости сечений $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ и $e^+e^- \rightarrow r\bar{r}$, показанных на рисунке 1.1.3.

Продолжился анализ данных, набранных ранее в 2011-2013 годах, до модернизации комплекса ВЭПП-2000.

Опубликован окончательный результат по изучению процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$. Зарегистрировано 2769 событий в области энергий 1,394-2,005 ГэВ в системе центра масс. Впервые измерено полное сечение этого процесса, изучена динамика процесса и выделены промежуточные состояния $\omega\eta$, $\phi\eta$, $a_0\rho$, а также еще одно состояние, возможно, $\omega(1650)$ (для точной идентификации требуется набор дополнительной статистики).

Опубликован окончательный результат по изучению процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ в области энергий ϕ -мезона от 0,92 до 1,06 ГэВ в системе центра масс. Зарегистрировано 6798 сигнальных событий. По анализу интерференции нерезонансного вклада и вклада ϕ -мезона измерена относительная вероятность редкого распада $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$, запрещенного по G-четности и по правилу Цвейга:

$$B(\phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-) = (6.5 \pm 2.7 \pm 1.6) \times 10^{-6}.$$

Получен окончательный результат по измерению сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ в области энергий ϕ -мезона. Статья направлена в журнал.

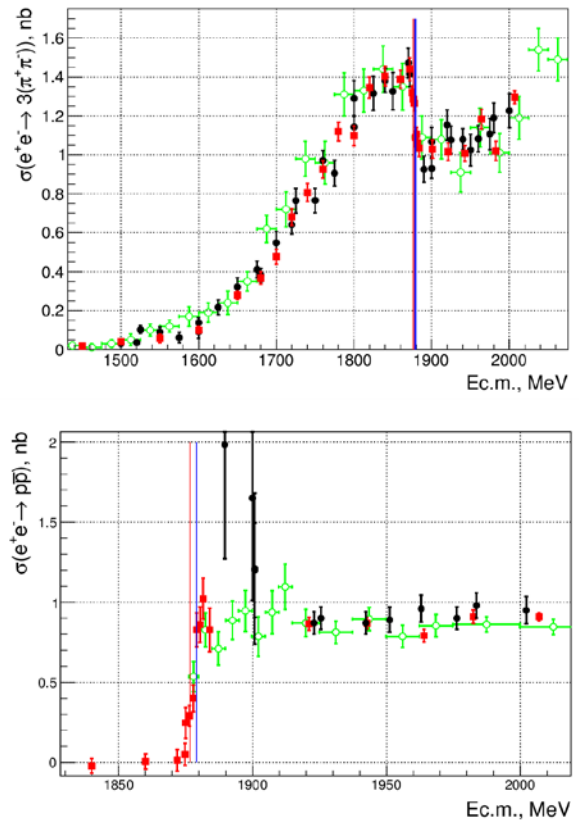


Рис. 1.1.3. Энергетическая зависимость сечений $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ (вверху) и $e^+e^- \rightarrow r\bar{r}$ (внизу). Красные квадраты – предварительные результаты сканирования 2017 года, черные точки – ранее опубликованные результаты КМД-3 по данным 2011-2012 гг., зеленые окружности – результаты эксперимента BaBar.

1.2. ДЕТЕКТОР СНД

1.2.1. Основные работы в 2017 году

В 2017 году начались эксперименты на модернизированном комплексе ВЭПП-2000 с инжекционным комплексом ВЭПП-5. В новом сезоне ВЭПП-2000 обеспечил скорость набора данных 50 пб⁻¹/год, что более чем вдвое превышает скорость набора статистики в 2011-2013 годах.

Параллельно на СНД продолжались работы по модернизации детектора и системы сбора данных, главной целью которых являлось обеспечение возможности записывать и обрабатывать данные при ожидаемом возрастании светимости коллайдера ВЭПП-2000. Также продолжался анализ экспериментальных данных, записанных в 2010-2013 годах на ВЭПП-2000.

1.2.2. Подготовка к новому эксперименту

Калориметр – основная подсистема детектора СНД, состоящая из 1632 сцинтилляционных счётчиков на основе NaI(Tl). Главной причиной выхода из строя счётчиков калориметра является пробой вакуумных фототриодов (ВФТ). Около 50 неисправных ВФТ были заменены во время летнего ремонта. Для пополнения запасов силами группы Пяты Е.Э. восстанавливается технология производства ВФТ в ИЯФ. В 2017 году было изготовлено два ВФТ с $K^*\eta = 100$ и 150%. В 2018 году планируется наладить выпуск до 50 ВФТ в год.

В 2017 году начато производство плат аналого-цифровой преобразователя (АЦП) с программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС) со встроенным процессором (Xilinx) и плат усилителя-формирователя (УФ). Новый АЦП – 24-канальный модуль с параллельными АЦП (flash ADC) с периодом оцифровки равным $1/3 T_{\text{обр}} \approx 25$ нс. Помимо амплитуды он позволит определять время срабатывания счётчика и обеспечивает временное разрешение лучше 1 нс при энерговыделении 100 МэВ. Обработка осциллограмм может производиться внутри модуля АЦП. В 2018 году новые модули АЦП и УФ будут подключены к калориметру.

Эти же АЦП используются для оцифровки сигналов катодных полосок трековой системы. В 2017 году изготовлены и подключены 12 модулей АЦП.

Аэрогелевый черенковский счетчик с показателем преломления $n=1,13$ предназначен для надежной идентификации частиц. Он обеспечивает разделение каонов и пионов во всем диапазоне энергии частиц, рождающихся в экспериментах на ВЭПП-2000. В 2017 году была заменена оцифровывающая электроника этой системы. Вместо старого электронного тракта, состоящего из АЦП и ВЦП была установлена электроника на основе FADC (flash АЦП)

с тактовой частотой 200 МГц. FADC позволяет в процессе регистрации получать амплитудные осциллограммы длительностью несколько периодов обращения пучка в ВЭПП-2000. В настоящий момент используется диапазон оцифровки 1 мкс или примерно 12 периодов обращения пучка. Выбранная длительность осциллограммы позволяет практически исключить потерю информации из-за неправильной временной привязки сигнала первичного триггера, которая имела место в старой схеме электроники. FADC были установлены и протестированы на детекторе. С марта 2017 году новая электроника работает в режиме набора данных.

Система сбора данных (ССД) в 2017 году активно развивалась по следующим направлениям: модернизация доступа к базам данным эксперимента, развитие операторского интерфейса, модернизация структуры ПО сбора данных для высоких загрузок, адаптация новых типов модулей оцифровки, повышение общей надежности аппаратуры.

В операторском интерфейсе заметно расширены возможности по контролю конфигурации и других условий проведения эксперимента. С использованием записанных данных с детектора изучена возможность ускорения процесса сбора данных при распараллеливании чтения из разных частей детектора, исследованы технические возможности распараллеливания и определены направления развития ССД. Реализованы отдельные компоненты новой системы (такие как параллельный преобразователь формата данных). Реорганизован и уже используется формат промежуточного контейнера, необходимый для распараллеливания третичного триггера.

В режиме интенсивного набора экспериментальной статистики сделано много улучшений для повышения надежности системы и качества данных: для связи модулей с компьютером теперь используются экранированные кабели, реализованные новые контрольные алгоритмы, позволяющие на раннем этапе отследить проблемы в аппаратуре и ССД.

Первый этап работы на комплексе ВЭПП-2000 продлился с февраля по июнь 2017 года. Сканировался диапазон энергии в системе центра масс от 1,28 до 2,00 ГэВ. Накопленная интегральная светимость составила 51 пб⁻¹.

В ноябре начат эксперимент в области энергии ниже 1 ГэВ. Физические задачи эксперимента:

- Измерение сечений $e^+e^- \rightarrow$ адроны, в частности, $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$.
- Изучение распадов ρ - и ω - мезонов.
- Поиск процесса $e^+e^- \rightarrow \eta$ (измерение электронной ширины η -мезона).

2.1.3. Анализ данных СНД.

В 2017 году проведена модернизация программы реконструкции событий, в частности, для обработки

информации с новой электроники аэрогелевых счетчиков. Было улучшено моделирование ядерного взаимодействия K_L -мезонов: в пакет GEANT 4.9.6 было введено полученное на основе экспериментальных данных сечение взаимодействия каонов с веществом. Это позволит уменьшить систематическую ошибку в измерении сечений процессов, содержащих K_L – мезоны: $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_L^0$, $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_L^0 \pi^0$, $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_L^0 \pi^0 \pi^0$.

В 2017 году был закончен анализ по измерению сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-$ в моде распада $\eta \rightarrow 3\pi^0$. Анализ основан на данных, набранных на e^+e^- коллайдере ВЭПП-2000 с интегральной светимостью $32,7 \text{ пб}^{-1}$ в диапазоне энергии $\sqrt{s} = 1,075\text{-}2,000 \text{ ГэВ}$. Для отбора событий, подавления фона и уточнения параметров частиц использовалась кинематическая реконструкция. На Рис. 1.2.1. приведено распределение инвариантной массы системы трех π^0 ($M_{3\pi^0}$) при энергии $\sqrt{s}=1,55 \text{ ГэВ}$. Ясно виден пик, соответствующий η -мезону.

Изовекторный процесс $e^+e^- \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-$ происходит главным образом через промежуточное состояние $\rho\eta$ и является важным для спектроскопии возбужденных состояний ρ мезона. Резонансы $\rho(1450)$ и $\rho(1700)$ дают значительный вклад в полное адронное сечение при энергии в системе центра масс $\sqrt{s} = 1,4 - 1,8 \text{ ГэВ}$.

Ранее этот процесс изучался на СНД в моде распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$. Сечение было измерено в области энергии от 1,22 до 2,00 ГэВ. Данные для двух мод распада согласуются, поэтому измерения обеих мод объединены. Результат объединенного измерения сечения процесса приведен на Рис. 1.2.2.

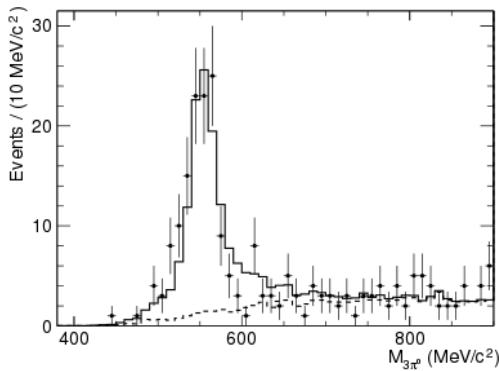


Рис. 1.2.1. Спектр $M_{3\pi^0}$ для отобранных данных при энергии $\sqrt{s}=1,55 \text{ ГэВ}$ (точки с ошибками). Гистограмма (сплошная линия) - результат аппроксимации суммой распределений эффекта и фона. Пунктирная гистограмма представляет спектр фона.

Энергетическая зависимость сечения аппроксимировалась моделью векторной доминантности с 2, 3 и 4-мя возбужденными состояниями ρ -мезона. Модель 1, содержащая $\rho(1450)$ и $\rho(1700)$, показана на Рис. 1.2.2 сплошной кривой. Она описывает данные хорошо, но имеет «неправильное» значение фазы $\phi_{\rho(1700)} = \pi$. В кварковой модели ожидается, что амплитуды $e^+e^- \rightarrow \rho(1450) \rightarrow \rho\eta$ и $e^+e^- \rightarrow \rho(1700) \rightarrow \rho\eta$

имеют противоположные знаки. Подгонка с «правильными» фазами $\phi_{\rho(1700)} = 0$ дает $g_{\rho(1700)} = 0$ и совпадает с моделью 2, содержащей только одно возбужденное состояние $\rho(1450)$. Эта модель описывает данные существенно хуже ($P(\chi^2) = 2\%$). Разумное качество подгонки с $\phi_{\rho(1700)} = 0$ может быть получено с дополнительным резонансом (модель 3). Масса и ширина этого резонанса фиксированы на значениях PDG $m_{\rho(2150)} = 2155 \text{ МэВ}/c^2$ и $\Gamma_{\rho(2150)} = 320 \text{ МэВ}$. Фаза $\phi_{\rho(2150)}$ установлена в 0. Этот результат свидетельствует о возможном наличии в амплитуде изучаемого процесса $\rho(2150)$. Необходимы более точные данные, чтобы выбрать между моделями 1 и 3.

Результаты СНД по сечению процесса $e^+e^- \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-$ находятся в согласии с данными, полученными ранее в эксперименте BABAR, но имеют лучшую точность.

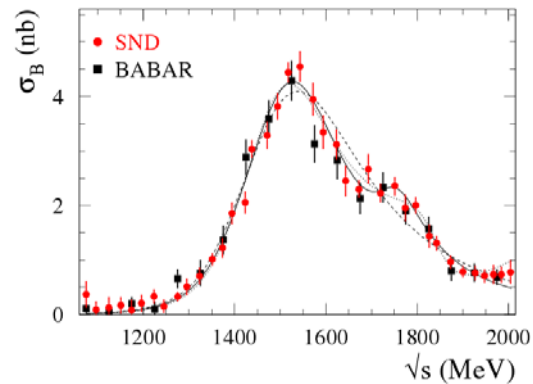


Рис. 1.2.2. Борновское сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-$, измеренное детекторами СНД и BABAR. Сплошная, штриховая и пунктирная линии результат подгонки моделями 1, 2 и 3 соответственно.

В 2017 году закончен анализ процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ с распадом $K_S \rightarrow 2\pi^0$ по данным, набранным при энергии $\sqrt{s}=1,3\text{-}2,0$. Процесс $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ является одной из мод процесса $K \text{ anti } K \pi$, который дает ощутимый вклад в полное сечение процессов e^+e^- аннигиляции в адроны при энергии в системе центра масс $\sqrt{s} = 1,5 - 1,8 \text{ ГэВ}$.

Процесс $K \text{ anti } K \pi$ важен для спектроскопии $s \text{ anti } s$ векторных состояний. Из этих состояний только низшее $\phi(1020)$ надежно установлено. До недавнего времени только два подпроцесса были изучены $e^+e^- \rightarrow K_S K^\pm \pi^\pm$, $K^+ K^- \pi^0$. Третий нейтральный подпроцесс $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ трудно измерить из-за сложности реконструкции и идентификации K_L мезона. Недавно он был измерен в эксперименте BABAR. Относительно большая систематическая неопределенность в этом эксперименте измерения сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ (10% в максимуме сечения) связана с неопределенностью вычитания фона.

В эксперименте СНД моделирование было проведено с помощью MC генератора событий. Они исходят из того, что процесс идет через промежуточное состояние $K^*(892) \text{ anti } K^0$.

Отбор событий процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ основан на поиске 3-х пар фотонов, формирующих $3\pi^0$. Два из этих π^0 , имеющих инвариантную массу, близкую к массе K_S , образуют кандидата в K_S -мезон. Для отобранных событий проводится кинематическая реконструкция с условиями наличия 3-х π^0 и K_S мезона. Требуется, чтобы χ^2 кинематического фита был меньше 15. Уточненные параметры фотонов используются для вычисления массы отдачи $K_S\pi^0$ системы (M_{rec}) (Рис.1.2.3). Число событий эффекта определяется из аппроксимации спектра M_{rec} суммой распределений эффекта (пик на массе K_L -мезона) и фона.

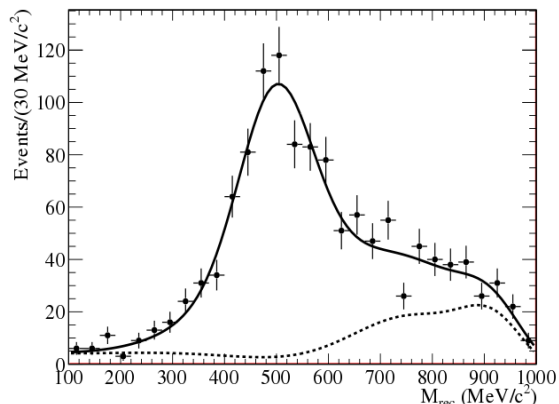


Рис. 1.2.3. Спектр масс отдачи системы $K_S\pi^0$ для экспериментальных событий, набранных в диапазоне энергии $\sqrt{s}=1,60-1,75$ ГэВ (точки с ошибками). Сплошная кривая представляет результат аппроксимации спектра суммой сигнала и фонового распределения. Пунктирная кривая представляет фоновое распределение.

Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ было измерено в области энергии 1,3-2,0 ГэВ. Сравнение данных СНД с единственным предыдущим экспериментом, выполненным BABAR, представлено на Рис.1.2.4. Показана только статистическая ошибка. Систематическая неопределенность данных СНД - 12-13%, в то время как BABAR систематическая неопределенность увеличивается от 10% при 1,7 ГэВ и ниже до примерно 20% при 2 ГэВ. Вблизи максимума сечения (1,7 ГэВ) точки СНД лежат ниже точек BABAR, но согласуются в пределах систематических ошибок. Та же тенденция сохраняется при больших энергиях до 2 ГэВ. Наибольшее различие, около 2 стандартных отклонений включая систематические ошибки, между СНД и BABAR наблюдается в энергетических точках 1,875 и 1,925 ГэВ.

Доминирующим механизмом реакции $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ при $\sqrt{s} < 2$ ГэВ является процесс $K^*(980)^0 \text{ anti } K^0$. При этом предположении сечение изучаемого процесса может быть предсказано с помощью изоспиновых соотношений и измерения BABAR сечений процессов: $e^+e^- \rightarrow K_S K^\pm \pi^\pm$, $e^+e^- \rightarrow K^+ K^- \pi^0$, $e^+e^- \rightarrow \phi\pi^0$. Предсказанное сечение показано на Рис.1.2.4 зеленой

полосой и хорошо согласуется с результатами нашего эксперимента.

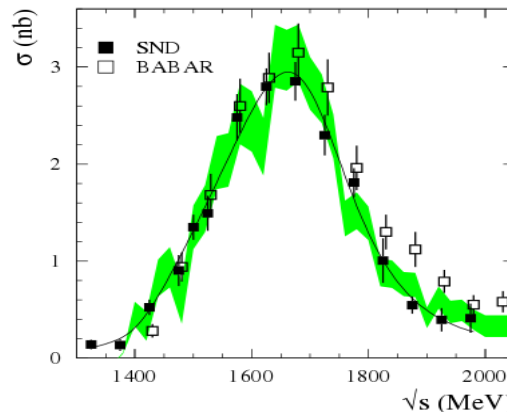


Рис. 1.2.4. Борновское сечение процесс $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$, измеренное на СНД (черные квадраты) в сравнении с результатом BABAR (полые квадраты). Кривая представляет результат аппроксимации данных СНД моделью векторной доминантности. Полоса - предсказания сечения $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$, полученные с помощью изоспиновых соотношений из измерений BABAR процессов $e^+e^- \rightarrow K_S K^\pm \pi^\pm$, $e^+e^- \rightarrow K^+ K^- \pi^0$, $e^+e^- \rightarrow \phi\pi^0$.

Подготовлена статья по измерению сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$ на детекторе СНД. Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$ изучался в моде распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$. Для анализа использовались данные с интегральной светимостью $19,4 \text{ пб}^{-1}$, накопленные на e^+e^- - коллайдере ВЭПП-2000 в 2011-2012 годах при энергии в системе центра масс $\sqrt{s}=1,56 - 2,00$ ГэВ.

Для идентификации заряженных частиц использовалась система аэрогелевых черенковских счетчиков и ионизационные потери заряженных частиц в дрейфовой камере. При анализе использовалась кинематическая реконструкция для уточнения параметров частиц и подавления фона. На Рис.1.2.5 приведен спектр инвариантных масс 2-х фотонов для отобранных экспериментальных событий в модели $e^+e^- \rightarrow K^+ K^- \gamma \gamma$, демонстрирующих наличие η -мезона в событиях.

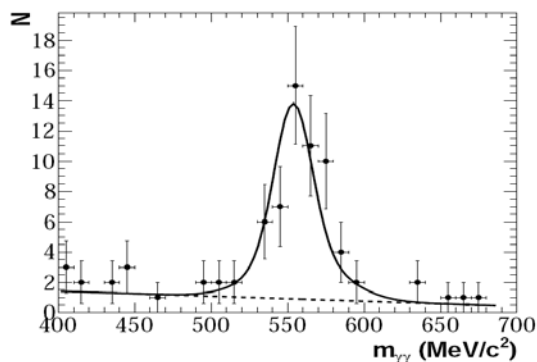


Рис.1.2.5.Спектр инвариантных масс пар фотонов в области энергии $\sqrt{s}=1,66-1,70$ ГэВ. Сплошная кривая -

аппроксимация суммой эффекта и фона, штриховая-распределение фона.

На Рис.1.2.6 спектр инвариантных масс пар каонов для отобранных событий после вычитания фона (точки с ошибками) свидетельствует о наличии промежуточного резонанса $\phi(1020)$. Там же приведен моделированный спектр инвариантных масс каонов в модели промежуточного состояния $\phi(1020)\eta$ (гистограмма).

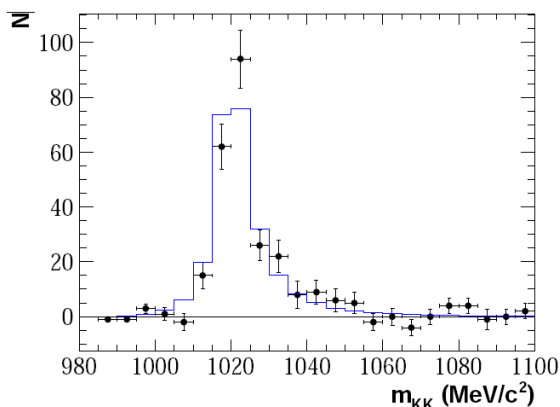


Рис. 1.2.6. Спектр инвариантных масс каонов для отобранных экспериментальных событий после вычитания фона (точки с ошибками). Гистограмма - моделирование процесса $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$ для промежуточного состояния $\eta\phi$.

Результат измерения борновского сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$ приведен на Рис.1.2.7. Энергетическая зависимость сечения определяется, в основном, вкладом резонанса $\phi(1680)$. Систематическая ошибка измерения сечения варьируется от 5 до 10%. Наше измерение статистически согласуется с результатом BABAR и имеют сравнимую точность.

Заключение

В эксперименте СНД проведено самое точное на конец 2017 года измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-$ в диапазоне энергии в системе центра масс $\sqrt{s}=1,075-2,000$ ГэВ. Анализ поведения сечения от

энергии свидетельствует о возможном наличии $\rho(2150)$ в амплитуде изучаемого процесса.

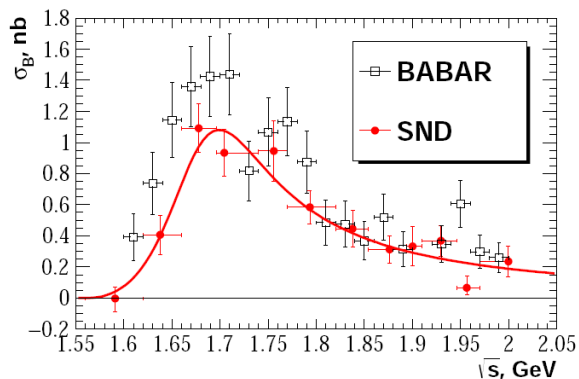


Рис. 1.2.7. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$. Кривая – аппроксимация сечения, проведенная по данным СНД.

В эксперименте СНД проведено измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ в диапазоне энергии в системе центра масс $\sqrt{s}=1,2-2,0$ ГэВ, согласующееся с предсказаниями с использованием изоспиновых соотношений и измеренных BABAR сечений реакций $e^+e^- \rightarrow K_S K^\pm \pi^\pm$, $e^+e^- \rightarrow K^+ K^- \pi^0$, $e^+e^- \rightarrow \phi\pi^0$.

В эксперименте СНД проведено измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \eta K^+K^-$ в диапазоне энергии в системе центра масс $\sqrt{s}=1,56-2,0$ ГэВ. Результаты статистически согласуются с результатом BABAR и имеют сравнимую точность.

Продолжены работы по модернизации электроники и системы сбора данных СНД для работы с высокой светимостью на модернизированном коллайдере ВЭПП-2000.

Начались эксперименты на модернизированном коллайдере ВЭПП-2000 с инжекционным комплексом ВЭПП-5. Первый цикл экспериментов продлился с февраля по июнь 2017 года. Сканировался диапазон энергии в системе центра масс от 1,280 до 2,0 ГэВ. Интегральная светимость составила $\mathcal{I}L=51$ пб⁻¹. В ноябре 2017 года начат эксперимент в области энергии ниже 1 ГэВ.

1.3. ДЕТЕКТОР КЕДР

Детектор КЕДР — это универсальный магнитный детектор, эксперименты с которым ведутся на e^+e^- коллайдере ВЭПП-4М в области энергии от 2 до 11 ГэВ в системе центра масс. Детектор оборудован системой регистрации рассеянных электронов для изучения $\gamma\gamma$ -физики. Параметры детектора находятся на уровне параметров детекторов, работающих в мире в этой области энергий.

С февраля 2017 года детектор КЕДР набирал статистику в эксперименте по прецизионному измерению масс D^+ и D^0 -мезонов на энергии пучка 1887 МэВ (пике $\psi(3770)$). Суммарно набрано 4.1 пб^{-1} . В настоящее время идет анализ данных.

В конце года начат набор статистики для измерения величины R в диапазоне от $2E = 4.56$ ГэВ до 6.96 ГэВ в семнадцати точках по энергии. Набор статистики разбит на два сканирования. До конца года был набран интеграл светимости 200 нб^{-1} .

Состояние детектора

В 2017 году все системы детектора КЕДР работали удовлетворительно.

Установлен новый блок решения вторичного триггера, разработанный на современной элементной базе. Время принятия решения уменьшено с 17.5 мкс до 14.5 мкс, что на 2-3 процента сократит мёртвое время системы сбора данных, ведущее к потере светимости коллайдера. В блоке предусмотрен режим «полуторного триггера», в котором возможно принятие решения о сбросе события до появления информации от медленных подсистем детектора. В этом режиме эффективное мёртвое время составит 10-11 мкс.

Запущен в работу новый сервер хранения данных ёмкостью 30 ТБ, обновлено сетевое оборудование детектора. Закуплено и собрано 6 узлов для новой системы сбора данных.

В 2017 году проведена модернизация IT инфраструктуры системы управления криокомплексом детектора КЕДР. Вакууммирующее оборудование в полном объеме подключено к аккумуляторному источнику бесперебойного электропитания мощностью 20 кВт, что предотвратило случайные перебои при его работе на эксперимент. Для детандера гелиевого рефрижератора изготовлено и доработано 3 комплекта поршневых пар. Один комплект был установлен в детандер, позволив получить стабильно низкий расход стороннего жидкого гелия для криостатирования сверхпроводящей магнитной системы детектора — до 500 литров в сутки в течение нескольких месяцев непрерывной работы.

Основные результаты

Опубликована статья (A. G. Shamov and K. Y. Todyshev, *Phys. Lett. B* **769** (2017) p.187) по совместной обработке данных, полученных в экспериментах BaBar, Belle, BES-II, CLEO и КЕДР в области состояния $\psi(3770)$, находящегося выше порога распада чармония на пару $D\bar{D}$ -мезонов. Обработка, проведённая в предположении векторной доминантности, подтверждает результаты КЕДР, опубликованные ранее. В частности, масса резонанса оказывается примерно на 7 МэВ больше, чем считалось ранее. Произведено сравнение точности описания данных моделью векторной доминантности и альтернативными моделями. Альтернативные модели не улучшают качество описания данных, имеющихся в области 3750–3900 МэВ.

Опубликована статья (V. V. Anashin e.a. (KEDR collaboration). *Physics Letters B. Volume* **775** (2017) p. 174) по измерению величины R в диапазоне энергии от 1.84 до 3.05 ГэВ в системе центра масс.

Завершён анализ данных по измерению Γ_{ee} для J/ψ мезона, а также $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\mu\mu}$ для $\psi(2S)$ мезона.

Продолжается анализ данных по измерению вероятности распада $J/\psi \rightarrow \gamma h^+ h^-$ и $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c$. Начат систематический анализ событий $\gamma\gamma \rightarrow$ адроны.

Подробнее анализ данных описан в разделе, посвящённом описанию физических результатов.

1.3.1 КАЛИБРОВКА СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ РАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Для получения энергетического разрешения по энергии виртуального фотона лучше 0.6% системы регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) необходима точная энергетическая калибровка.

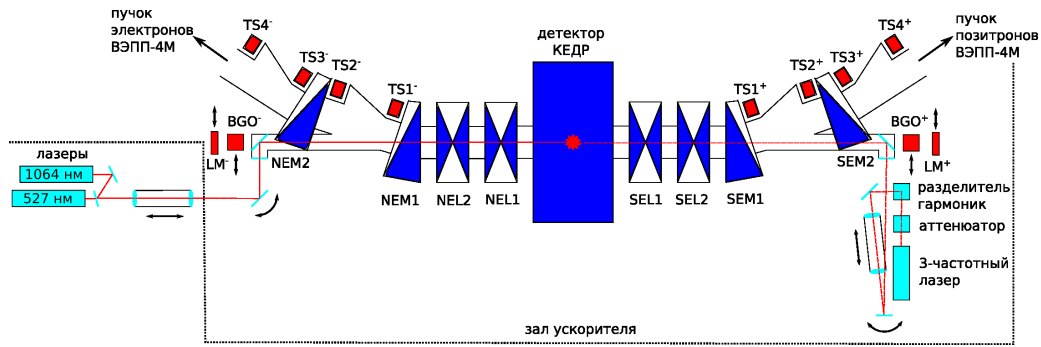


Рис.1.3.1: Детектор(в центре), магнитная система (линзы и магниты), блоки системы регистрации (красные TSxx), лазерная система калибровки(сине-зеленый) и BGO калориметры.

Для этого была сконструирована и изготовлена система лазерной калибровки, которая включает в себя три лазера и два калориметра полного поглощения с высоким разрешением на основе больших монокристаллов BGO (рис. 1).

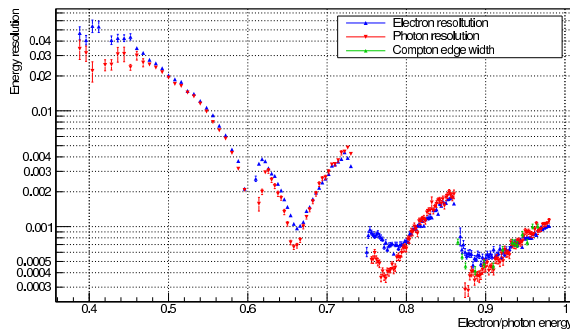


Рис.1.3.2: Энергетическое разрешение системы регистрации РЭ по электрону, фотону и комптоновскому краю, рассчитанное с помощью моделирования. Энергия пучка 4000 МэВ.

Написана программа моделирования участка магнитной структуры ВЭПП-4М, которая описывает движение рассеянных электронов с учетом токов магнитных элементов кольца и орбиты пучка. Это позволило прокалибровать зависимость координата-энергия системы рассеянных электронов и улучшить энергетическое разрешение. Результаты моделирования показаны на рис. 2.

Разработанная процедура энергетической калибровки включает в себя следующие шаги:

1. В специальном заходе с малой светимостью (примерно раз в месяц) на событиях однократного тормозного излучения с помощью одновременно зарегистрированных пар электрон-фотон производится калибровка всех блоков де-

тектора, т.е. измеряется зависимость координаты от E_{e^-} . Используется тот факт, что для этого процесса $\omega\gamma = E_{beam} - E_{e^-}$. При этом калориметры BGO одновременно калибруются по краю однократного тормозного излучения ($\simeq E_{beam}$) и комптоновскому краю ($\simeq 4\gamma^2\omega_{laser}$), характерные спектры показаны на рис. 3. Пример калибровки блока $TS4^-$ показан на рис. 4. Калибровка позволяет связать координату рассеянного электрона с энергией фотона. По разбросу точек от калибровочной линии видно, что достигается точность около $0.1\% \cdot E_{beam}$. Для остальных блоков достижимая точность в 2-5 раз хуже при более худшем разрешении.

2. Для калибровки дальнего блока системы регистрации $TS4$ используются рассеянные на лазерных фотонах электроны. Это позволяет улучшить точность калибровки в этом блоке до уровня $\simeq 0.03\% \cdot E_{beam}$, что сравнивается с наилучшим теоретическим значением энергетического разрешения.
3. В промежутках между BGO-калибровками изменение энергетической шкалы системы измерения отслеживается по модели спектрометра с использованием данных о токах в магнитных элементах промежутка и положении пучка по пикапам. Точность поправок контролируется по краю спектра комптоновского рассеяния. Калибровочные события комптоновского рассеяния записываются системой сбора данных КЕДР с частотой несколько герц. В дальнейшем поправки на дрейф магнитной системы предполагается вносить для каждого захода.

Для проверки точности калибровки использованы события $\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$ с измерением импульсов мюонов в дрейфовой камере. После чего можно рассчитать энергии рассеянных электронов и сравнить их с измерениями в системе регистрации. Были рас-

считаны коррекции по состоянию магнитной системы за соответствующий период времени и использована информация о положении края комптоновских электронов (рис. 3, нижний). Как видно на рис. 5, разница уменьшилась с 1% до $\simeq 0.2\%$.

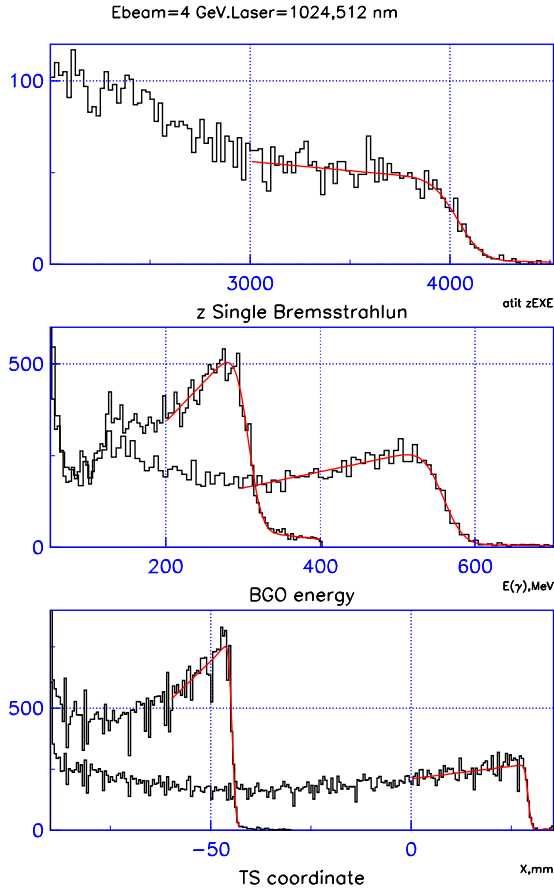


Рис.1.3.3: Доступные γ и e^- спектры, используемые для калибровки BGO и системы регистрации.

1.3.2 ФИЗИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1.3.2.1 Измерение Γ_{ee} для J/ψ мезона

В 2017 году была завершена обработка эксперимента по прямому измерению лептонной ширины J/ψ мезона и её произведений на вероятности распада в адроны и пару электронов.

Для анализа использовалась статистика 2005 г., набранная коллайдером ВЭПП-4М с детектором

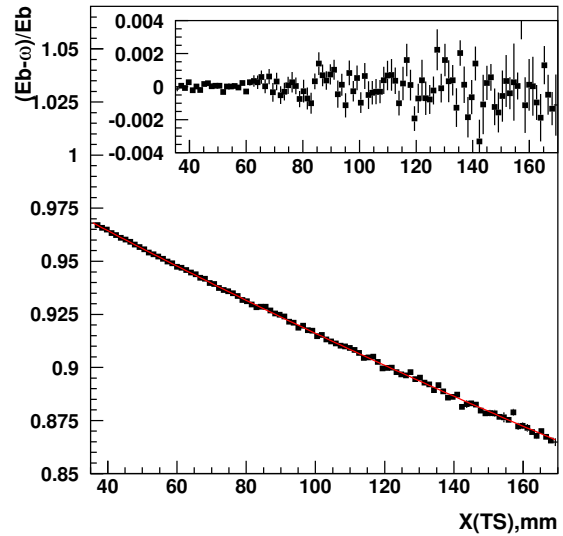


Рис.1.3.4: Пример калибровки блока $TS4$ – с использованием BGO-калориметра.

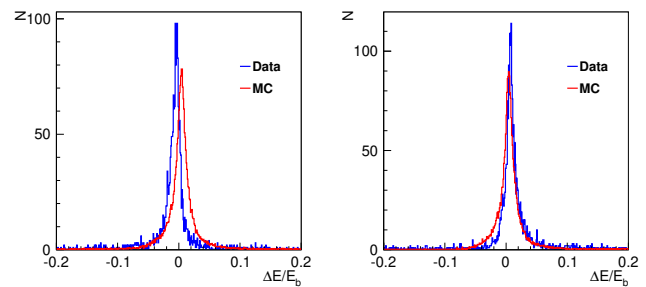


Рис.1.3.5: Разность энергии РЭ (электронная сторона), кинематически рассчитанной по центральной части, и определённой по СРРЭ. С левой стороны калибровка 2015 года, с правой — результат использования края комптоновского рассеяния и поправки на дрейф магнитной системы.

КЕДР при сканировании J/ψ мезона в 11 точках по энергии, как показано на рис. 6. Это позволило провести подгонку зависимости сечения рождения адронов и электронов от энергии в области узкого J/ψ резонанса и измерить его лептонную ширину и её произведения на соответствующие вероятности распадов. Интеграл светимости составил 230 нб^{-1} , что даёт приблизительно 250 тысяч рождённых J/ψ мезонов.

Было проведено две подгонки сечения, из первой определили значения произведений $\Gamma_{ee}(J/\psi) \times \mathcal{B}_{\text{hadrons}}(J/\psi)$ и $\Gamma_{ee}(J/\psi) \times \mathcal{B}_{ee}(J/\psi)$. Ошибки этих величин строго скоррелированы, поэтому для определения полной лептонной ширины $\Gamma_{ee}(J/\psi)$ было проведено отдельное фитирование. Получены ре-

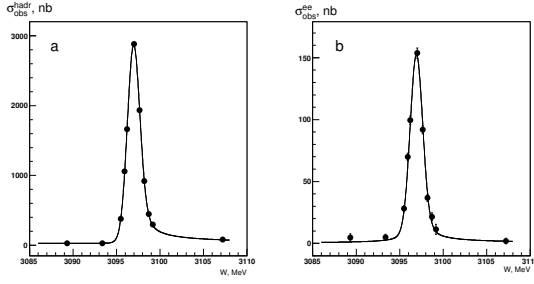


Рис.1.3.6: Наблюдаемое сечение в зависимости от энергии для процессов (а) $e^+e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow$ адроны и (б) $e^+e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow e^+e^-$. Линиями показаны результаты подгонки сечения в области узкого резонанса.

зультаты:

$$\Gamma_{ee}(J/\psi) = 5.550 \pm 0.056 \pm 0.089 \text{ keV},$$

$$\Gamma_{ee}(J/\psi) \times \mathcal{B}_{\text{hadrons}}(J/\psi) = 4.884 \pm 0.048 \pm 0.078 \text{ keV},$$

$$\Gamma_{ee}(J/\psi) \times \mathcal{B}_{ee}(J/\psi) = 0.3331 \pm 0.0066 \pm 0.0040 \text{ keV}.$$

Основные источники систематических неопределённостей измеренных величин перечислены в таблице 1.

Используя полученную лептонную ширину и среднемировое значение вероятности распада в пару электронов, была определена полная ширина J/ψ мезона:

$$\Gamma = 92.94 \pm 1.83 \text{ keV}.$$

Измеренное значение $\Gamma_{ee}(J/\psi) \times \mathcal{B}_{\text{hadrons}}(J/\psi)$ согласуется с предыдущими прямыми измерениями данной величины и имеет в 4 раза лучшую точность. Измеренные значения электронной $\Gamma_{ee}(J/\psi)$ и полной $\Gamma(J/\psi)$ ширин согласуются со среднемировыми, сравнения с результатами предыдущих экспериментов показаны на рис. 7, 8.

По результатам работы подготовлена и направлена в Journal of High Energy Physics статья.

1.3.2.2 Измерение $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\mu\mu}$ и Γ_{ee} для $\psi(2S)$

Завершена обработка набранной детектором КЕДР в 2005–2010 гг. статистики в области $\psi(2S)$ -мезона с целью измерения произведения его электронной ширины на удельную вероятность распада в мюонную пару.

Набор экспериментальных данных велся в двух режимах. В сканированиях данные записывались в как минимум пяти точках по энергии вблизи $\psi(2S)$ -резонанса: в пике сечения, на склонах и в нерезонансной области несколько выше и ниже пика. В наборах «пик/подложка» точек было две — в пике и несколько ниже него. Было сделано 4 сканирования

и 5 наборов «пик/подложка»; полная интегральная светимость составила около 6.5 обратных пб.

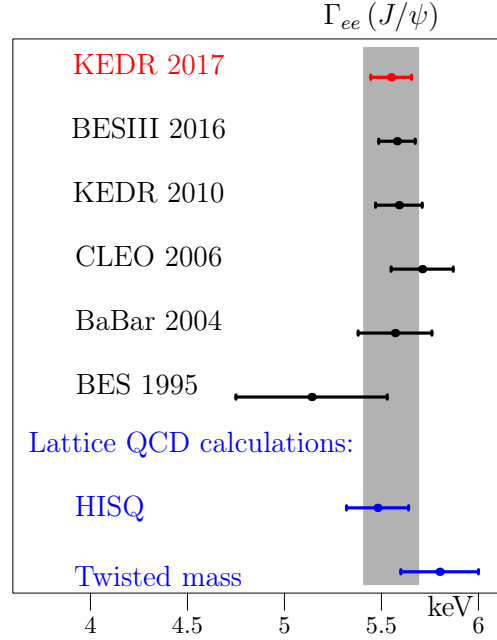


Рис.1.3.7: Сравнение $\Gamma_{ee}(J/\psi)$, полученного в наиболее точных экспериментах, и $\Gamma_{ee}(J/\psi)$, вычисленного с помощью методов решётчатой КХД. Серый прямоугольник соответствует среднемировому значению и его неопределённости.

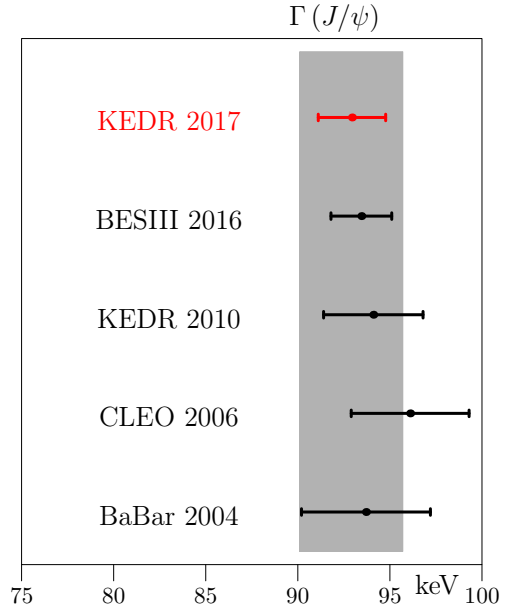


Рис.1.3.8: Сравнение измеренного $\Gamma(J/\psi)$ с результатами других экспериментов. Серый прямоугольник соответствует среднемировому значению и его неопределённости.

Таблица 1: Основные источники систематических неопределённостей в измерении $\Gamma_{ee}(J/\psi)$, $\Gamma_{ee}(J/\psi) \times \mathcal{B}_{\text{hadrons}}(J/\psi)$ и $\Gamma_{ee}(J/\psi) \times \mathcal{B}_{ee}(J/\psi)$.

Источник	Ошибка, %		
	Γ_{ee}	$\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\text{hadrons}}$	$\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{ee}$
Измерение светимости	1.0	1.0	1.0
Моделирование распадов J/ψ	0.7	0.7	–
Отклик детектора	0.8	0.8	0.4
Ускорительные эффекты	0.4	0.4	0.4
Теоретические неопределённости	0.4	0.4	0.2
Квадратичная сумма	1.6	1.6	1.2

За время проведения работы состояние экспериментального комплекса существенно менялось. Наборы данных являются практически независимыми экспериментами, и обрабатывались по отдельности. При усреднении результаты наборов рассматривались как имеющие независимую статистическую и частично скоррелированную систематическую ошибку.

После усреднения наборов итоговый результат составил

$$\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\mu\mu} = 19.3 \pm 0.3 \pm 0.5 \text{ эВ.}$$

На сегодня таблицы Particle Data Group не содержат «среднемирового» значения этой величины и не перечисляют её измерений. Используя PDG-значения для Γ_{ee} и $\mathcal{B}_{\mu\mu}$, можно получить условное «среднемировое» $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\mu\mu} = 18.5 \pm 2.1$ эВ, хорошо согласующееся с результатом детектора КЕДР.

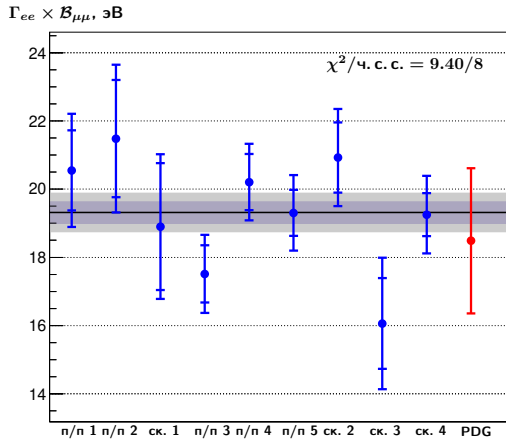


Рис.1.3.9: Результаты наборов и итоговый.

Результаты наборов и итоговый результат представлены на рис. 9. Синим цветом показаны отдельные наборы, красным — «среднемировое» значение из таблиц PDG. Итоговый результат детектора КЕДР показан горизонтальной линией, его статистическая и полная ошибки — серыми полосами.

На рисунке 10 показан пример наблюдаемого сечения $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$.

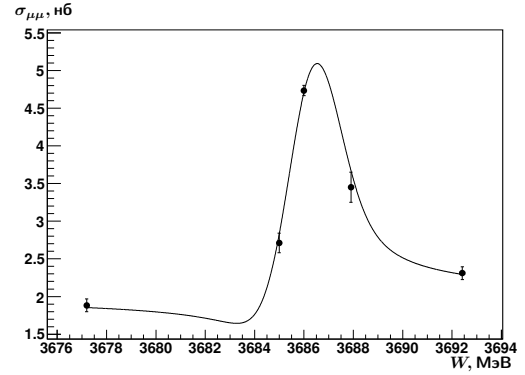


Рис.1.3.10: Иллюстрация наблюдаемого сечения $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ в сканировании 4.

Результат измерения $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\mu\mu}$ представлен на конференции PhiPsi17 (Майнц, Германия).

Используя опубликованное детектором КЕДР ранее значение $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\text{адроны}} = 2.233 \pm 0.015 \pm 0.042$ кэВ и измеренное $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\mu\mu}$, мы получили значение электронной ширины $\psi(2S)$

$$\Gamma_{ee} = 2.279 \pm 0.015 \pm 0.042 \text{ кэВ}$$

в предположении лептонной универсальности.

Из анализа также получена величина $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{ee}$:

$$\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{ee} = 21.2 \pm 0.7 \pm 1.2 \text{ эВ.}$$

Резонансное сечение $\psi(2S) \rightarrow e^+e^-$ слишком мало по сравнению с сечением упругого рассеяния, так что систематические погрешности в e^+e^- -канале гораздо больше, чем в мюонном. Тем не менее, мы можем вычислить Γ_{ee} без использования лептонной универсальности, добавив ещё измеренное детектором КЕДР значение $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\tau\tau} = 9.0 \pm 2.6$ эВ:

$$\Gamma_{ee} = 2.282 \pm 0.015 \pm 0.042 \text{ кэВ.}$$

Наши значения Γ_{ee} и их сравнение с предыдущими результатами представлены на рисунке 11. Основной вклад в погрешности Γ_{ee} в обоих случаях дают погрешности $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\text{адроны}}$.

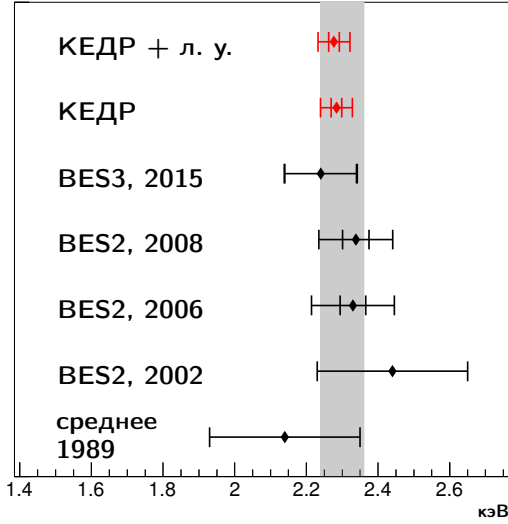


Рис.3.11: Сравнение измерений $\Gamma_{ee}(\psi(2S))$. Значение PDG показано серой полосой. Результат детектора КЕДР дан как с использованием лептонной универсальности, так и без неё. Приведены полные и статистические (где возможно) ошибки.

1.3.3 ДВУХФОТОННАЯ ФИЗИКА

Для моделирования процессов двухфотонного рождения пар лептонов используется модифицированный генератор Berends'a $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + \mu^+\mu^-$ в комбинации с программой PHOTOS для моделирования излучения в конечном состоянии. В области инвариантных масс больше 1 ГэВ существенную роль играет фон от событий Бабы с большой радиационной поправкой. Использование генераторов (MCGPJ, BHWIDE, BabaYaga) дает систематическую ошибку определения процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + e^+e^-$ 4.6%.

Продолжается работа по развитию собственных программ моделирования. В частности, реализованы генераторы $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + \pi^+\pi^-$ с учетом интерференции резонанса $f_2(1270)$ с подложкой и важный для наших исследований генератор $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + \text{адроны}$. Проводится сравнение результатов моделирования с имеющимися экспериментальными данными.

В теоретическом отделе ИЯФа по нашему заказу произведены теоретические расчеты для процесса $\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma$. В дальнейшем предполагается соединить имеющиеся программы $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + X$ с новой программой и использовать её для практического изучения данного процесса. Кроме того, в дальнейшем планируется подготовить генератор $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ для изучения соответствующего процесса.

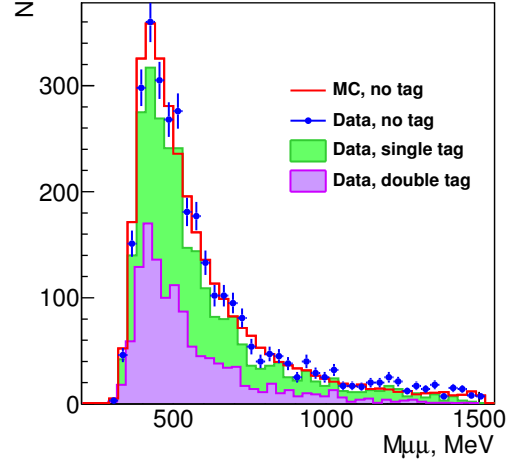


Рис.3.12: Наблюдаемые спектры для $\mu^+\mu^-$ 0,1,2-tag событий. Данные: $3014 \pm 56 \pm 83$, моделирование: 3185, данные/моделирование: 0.946 ± 0.033 .

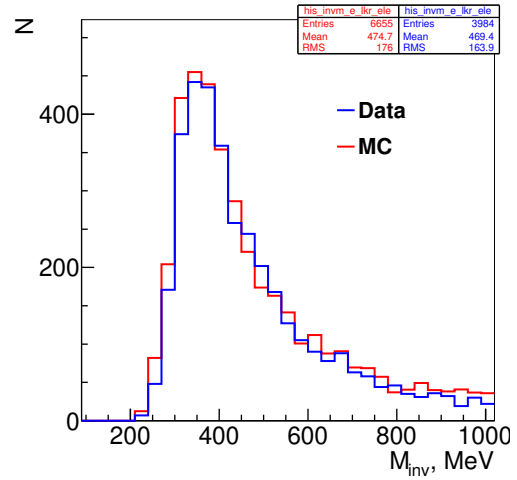


Рис.3.13: Наблюдаемые спектры для e^+e^- 0-tag событий. Данные: $3582 \pm 60 \pm 8$, моделирование: 3711, данные/моделирование: 0.965 ± 0.045 .

Для двухчастичных процессов был обработан интеграл светимости около 4 pb^{-1} при $E_b = 1.78 \text{ ГэВ}$. Для процесса с мюонами было отобрано 3163 двухчастичных коллинеарных событий (с подавлением e^+e^- событий). Отобранные события включают $\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$ (86.7%), e^+e^- (0.6%), $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ (2%) и фон на остаточном газе (4.7%, оценка по статистике с разведёнными пучками). После вычитания фона (основные $\pi^+\pi^-$ – 6%, рассеяние на остаточном газе (beam-gas) – 4.7%) остаётся 3014 событий.

Для процесса $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$ отобрано 3984 события, после вычитания фона (основной от Bhabha-рассеяния – $5 \div 15\%$) остаётся 3711 событий. Спектры по инвариантной массе отобранных событий по-

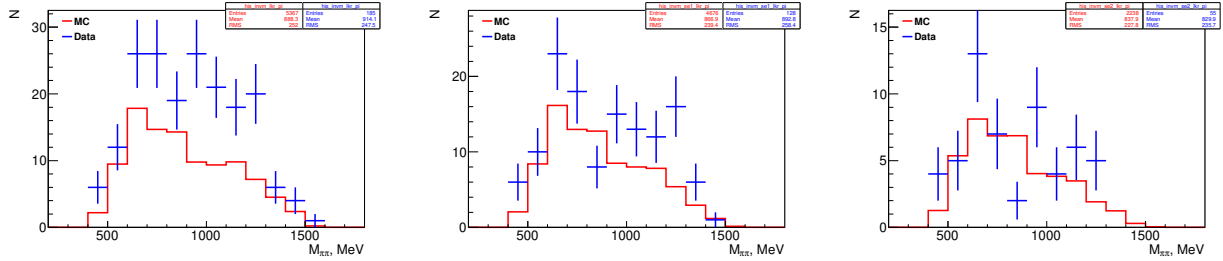


Рис.3.14: Наблюдаемые спектры для 0-, 1-, 2- tag $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ событий. Данные : $101 \pm 13 \pm 24$, моделирование: 90 ± 1 .

казаны на рис. 12, 13. В целом, наблюдается удовлетворительное согласие с моделированием.

Для выделения событий $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ применялся алгоритм на основе нейронной сети, который использовал, в основном, информацию с баррельного LKr калориметра, для подавления мюонов и электронов. Эффективность выделения пионов составляла около 65%, мюоны и электроны проходят с вероятностью около 5%.

Спектры по инвариантной массе пары $\pi^+\pi^-$ показаны на рис. 14. Для событий 0-tag есть значительный фон от beam-gas (30%) и около 6% от других двухфотонных событий. В событиях с рассеянным электроном beam-gas значительно подавлен. Про согласие с моделированием говорить пока трудно из-за малой статистики. Кроме того, необходимо проверять адекватность модели $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ вблизи порога рождения.

Для отбора событий $\gamma\gamma \rightarrow$ адроны требовалось не меньше 4 частиц, из которых, как минимум, две заряженных из места встречи с импульсами $P > 70$ МэВ. Дополнительно ставились ограничения на суммарный поперечный импульс и полное энерговыделение. Также требовались оба рассеянных электрона с инвариантной массой соответствующих фотонов $W(\gamma\gamma) > 500$ МэВ. В обработку было включено два набора данных при $E_b = 1777$ МэВ (3.9 pb^{-1}) и $E_b = 1843$ МэВ (2.4 pb^{-1}). Было отобрано 136 и 88 событий, соответственно. Основной фон идет из других двухфотонных каналов и оценивается как 41 и 12 событий. Спектры по инвариантной массе показаны на рис. 15. Про согласие с моделированием пока говорить рано.

1.3.4 АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ $J/\psi \rightarrow \gamma h^+ h^-$

После установки в детекторе КЕДР двухслойной версии системы идентификации частиц АШИФ на основе пороговых аэрогелевых черенковских счётчиков был набран интеграл светимости около 1.3 pb^{-1} в пике J/ψ -мезона, что соответствует рож-

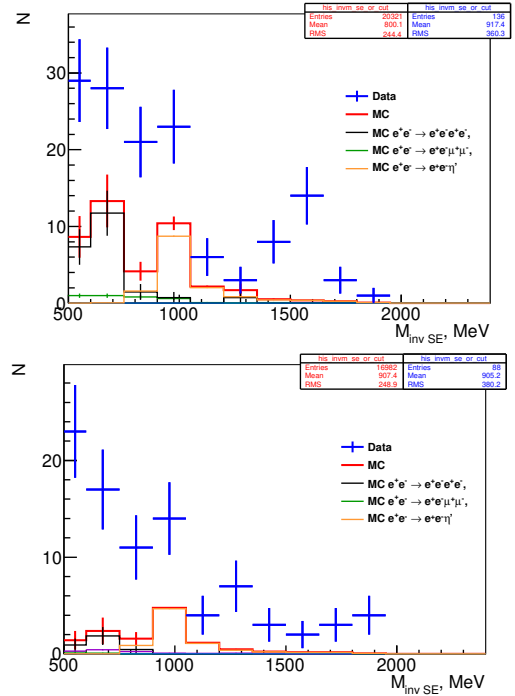


Рис.1.3.15: Спектр по инвариантной массе фотонов, сверху 1777 МэВ, внизу 1843 МэВ

дению около 5 миллионов J/ψ . Одной из задач этого набора было выделение с использованием системы АШИФ процессов $J/\psi \rightarrow \gamma h^+ h^-$, где $h = \pi, K, p$. С целью отладки алгоритмов выделения и разделения изучаемых процессов, часть набранной статистики была обработана программой реконструкции событий детектора КЕДР. Были выделены процессы с протонами: $J/\psi \rightarrow p\bar{p}, \pi^0 p\bar{p}$ и $\gamma p\bar{p}$. На рис. 16 приведены распределения по событиям-кандидатам $\pi^0 p\bar{p}$ и $\gamma p\bar{p}$ соответственно. Событиям с протонами соответствуют пики в единице. Выделение событий с $p\bar{p}$ из более многочисленных событий с лёгкими мезонами было сделано на основе упрощённой кинематической реконструкции событий в RAW, измерения импульсов частиц в дрейфовой камере и энерговыделения в калориметре.

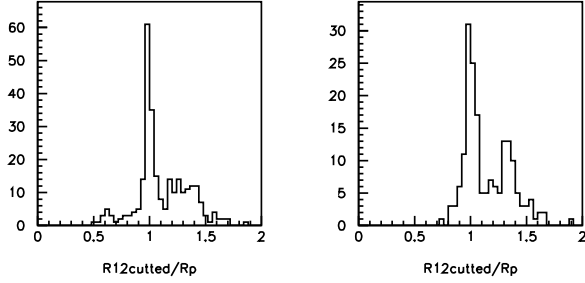


Рис.1.3.16: Распределения по событиям-кандидатам $\pi^0 p \bar{p}$ (слева) и $\gamma p \bar{p}$ (справа)

Кроме того, в пакете KEDRSIM было проведено моделирование этих процессов с использованием программ моделирования ядерного взаимодействия GEISHA и FLUKA. Сравнение данных с моделированием показало, что ядерное взаимодействие \bar{p} плохо согласуется с GEISHA, и удовлетворительно — с FLUKA.

Была доработана, протестирована и включена в пакет реконструкции детектора КЕДР программа реконструкции для двухслойной версии системы АШИФ. По космическим частицам были проведены измерения положения счетчиков системы АШИФ относительно трековой системы детектора. На космических мюонах и событиях упругого e^+e^- рассеяния получены результаты по эффективности регистрации релятивистских частиц и качеству идентификации частиц. Показано, что система АШИФ позволяет подавить двухчастичные события с надпороговой скоростью частиц более чем в 1000 раз. Эти измерения подтвердили, что система АШИФ позволяет разделять процессы $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-X$ и K^+K^-X в данном анализе.

В настоящее время ведётся работа по настройке моделирования системы АШИФ, что необходимо для определения эффективностей регистрации изучаемых процессов. На космических мюонах получено хорошее согласие моделирования с данными как в надпороговой ($P > 330$ МэВ/с), так и в подпороговой области. В 2017 г. набранная статистика J/ψ -распадов была переобработана в более удобном для анализа формате дерева ROOT и также используется для настройки моделирования системы АШИФ. Для этой цели используются события $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, выделяемые с помощью программы кинематической реконструкции из пакета реконструкции детектора КЕДР. Для импульсов пионов выше пороговых (450 МэВ/с) количество фотоэлектронов в данных и моделировании согласуются. Измеренная на $\pi^+\pi^-\pi^0$ событиях допороговая эффективность оказалась выше, чем на мюонах, но в ин-

тервале 180-450 МэВ/с согласуется с моделированием, если ядерные взаимодействия моделируются программой FLUKA. Для более низких импульсов согласие плохое, что может объясняться примесью непионных событий. Эта работа продолжается. Ведётся работа и над более чистым разделением каналов $J/\psi \rightarrow \gamma h^+h^-$ и $J/\psi \rightarrow \pi^0 h^+h^-$, что необходимо для измерения бранчингов $J/\psi \rightarrow \gamma h^+h^-$. В случае жёстких π^0 это является нетривиальной задачей ввиду значительной вероятности слияния кластеров от двух фотонов π^0 в один.

1.3.5 ИЗМЕРЕНИЕ R В ДИАПАЗОНЕ $2E = 1.84 \div 3.05$ ГэВ

В эксперименте КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М проведено прецизионное измерение величины R в тринадцати точках в диапазоне энергии центра масс от 1.84 до 3.05 ГэВ. Достигнутая точность измерения в большинстве точек лучше либо равна 3.3% при систематической ошибке 2.4%. В настоящее время это наиболее точное измерение величины R для данной области энергии (*V.V. Anashin et. al. [KEDR collaboration], Phys. Lett. B 775 (2017) 174*).

Величина R определяется как отношение полного сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны с учётом радиационных поправок к сечению рождения мюонной пары в борновском приближении. Прецизионное измерение $R(s)$ имеет ключевое значение при определении константы сильного взаимодействия $\alpha_s(s)$ и масс тяжёлых кварков, аномального магнитного момента мюона $(g-2)_\mu$ и значения электромагнитной постоянной тонкой структуры $\alpha(M_Z^2)$ в области пика Z^0 . Измерение $R(s)$ в области энергий от 1.84 до 3.05 ГэВ проводилось во многих экспериментах, при этом точность результатов не превосходила 5%.

Таблица 2: Результаты измерений величин $R(s)$.

\sqrt{s} , МэВ	$R(s)$
1841.0	$2.226 \pm 0.139 \pm 0.158$
1937.0	$2.141 \pm 0.081 \pm 0.073$
2037.3	$2.238 \pm 0.068 \pm 0.072$
2135.7	$2.275 \pm 0.072 \pm 0.055$
2239.2	$2.208 \pm 0.069 \pm 0.053$
2339.5	$2.194 \pm 0.064 \pm 0.048$
2444.1	$2.175 \pm 0.067 \pm 0.048$
2542.6	$2.222 \pm 0.070 \pm 0.047$
2644.8	$2.220 \pm 0.069 \pm 0.049$
2744.6	$2.269 \pm 0.065 \pm 0.050$
2849.7	$2.223 \pm 0.065 \pm 0.047$
2948.9	$2.234 \pm 0.064 \pm 0.051$
3048.1	$2.278 \pm 0.075 \pm 0.048$

Результаты работы, выполненной в эксперименте КЕДР, представлены в таблице 2.

1.3.6 ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ РАСПАДА $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$

В 2017-м году разработано программное обеспечение для идентификации заряженных и нейтральных частиц с помощью систем детектора КЕДР, а также для кинематической реконструкции эксклюзивных распадов J/ψ . С помощью имеющихся генераторов сделано моделирование распадов $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$ и фоновых процессов. На основе моделирования и сравнения с экспериментальными данными для 16 эксклюзивных каналов распада η_c -мезона определено, что наиболее подходящими каналами для определения формы спектра фотонов в исследуемом распаде являются каналы распада $\eta_c \rightarrow K_s K^\pm \pi^\mp$ и $\eta_c \rightarrow K^+ K^- \pi^0$. Эти каналы имеют наилучшее отношение сигнал/фон, и кроме того, фоны для них имеют наименьшее число вкладов. В первом приближении, без учета интерференции с подложкой, определена форма спектра сигнала в изучаемом процессе. При дальнейшем анализе данных с детектора предполагается определить форму спектра сигнала с учётом интерференции, и с ее помощью впервые модельно-независимым образом измерить величину брэнчинга распада $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$ в инклюзивном спектре фотонов.

1.3.7 ТЕСТОВЫЙ ПУЧОК ЭЛЕКТРОНОВ КОМПЛЕКА ВЭПП-4М

Назначение установки для получения тестового пучка электронов — проведение методических работ по разработке перспективных детекторов для физики высоких энергий и ядерных исследований. Измерения прототипа детектора с реальными частицами позволяют экспериментально проверить заложенные при его конструировании принципиальные решения и, при необходимости, внести необходимые правки в конструкцию.

Установка занимает два помещения, непосредственно примыкающих к экспериментальному промежутку коллайдера ВЭПП-4М, как показано на рис. 17. Метод получения тестового пучка электронов заключается в следующем. В гало пучка электронов коллайдера ВЭПП-4М вводится подвижной конвертор (см. рис. 18), в котором образуются тормозные гамма-кванты. Обратная конверсия тормозных гамма-квантов в электрон-позитронные пары производится в экспериментальном зале установки на конверсионной мишени. Для отбора электронов с

определенным импульсом используется дипольный поворотный магнит.

Тестовый пучок электронов имеет следующие параметры:

- диапазон энергий от 100 МэВ до 3500 МэВ;
- энергетический разброс равен 7.8% для энергии 100 МэВ и 2.6% для энергии 3000 МэВ;
- средняя скорость счета 50 Гц.

Установка оснащена всем необходимым оборудованием для организации триггерного сигнала, измерения координат треков и энергии тестового пучка. Используемая для этого система сбора данных обеспечивает также регистрацию данных с измеряемых прототипов детекторов. Полученные параметры тестового пучка на комплексе ВЭПП-4 сравнимы с параметрами тестовых пучков в таких международных центрах как Frascati (Италия), ИИЭР Beijing (Китай) и Tohoku (Япония).

Начиная с 2011 года на тестовом пучке электронов проводятся измерения со следующими прототипами детекторов:

- детекторов для регистрации черенковских колец — ФАРИЧ (от англ. FARICH — Focusing Aerogel Ring Image Cherenkov), который является перспективной системой идентификации частиц для проекта Супер Чарм-Тау фабрики (г. Новосибирск), переднего спектрометра детектора PANDA (Германия) и детектора HMPID (High Momentum Particle Identification) для ALICE (Швейцария);
- приборов на основе микроканальных пластин (МКП) для время-пролётных систем с предельным временным разрешением, которые планируется использовать для идентификации частиц и подавления наложения событий в калориметрах в условиях большой светимости, например, на большом адронном коллайдере;
- координатных детекторов на основе газовых электронных умножителей (ГЭУ), данные детекторы активно применяются в экспериментах, проводимых в ИЯФ СО РАН.

В 2017 году на тестовом пучке измерялись приборы на основе МКП различной конструкции, среди них были обычные ФЭУ с МКП, так и специально изготовленные приборы на основе МКП. Достигнуто временное разрешение на один электрон лучше 30 пс, при этом эффективность регистрации для лучших приборов составила около 70%. Часть смен было выделено на изучение координатных детекторов на основе ГЭУ. Проводилось исследование их

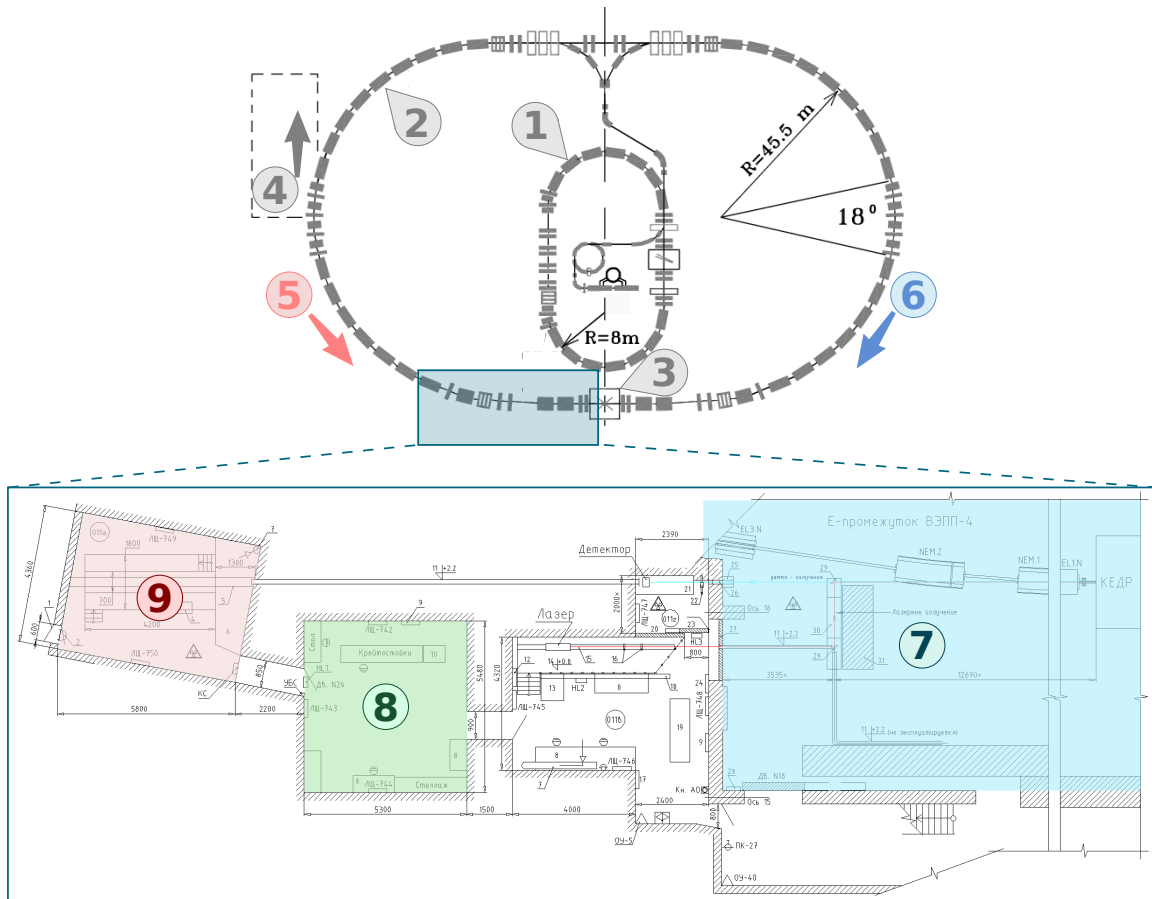


Рис.3.17: Расположение помещений установки для получения тестового пучка электронов относительно ускорительного комплекса ВЭПП-4: 1 – накопитель ВЭПП-3, 2 – коллайдер ВЭПП-4М, 3 – установка детектор КЕДР, 4 – бункер СИ ВЭПП-4М, 5 – направление движения позитронов, 6 – направление движения электронов, 7 – экспериментальный промежуток коллайдера ВЭПП-4М, 8 – пультовая установки (рабочее место оператора), 9 – экспериментальный зал установки (радиационно опасная зона).

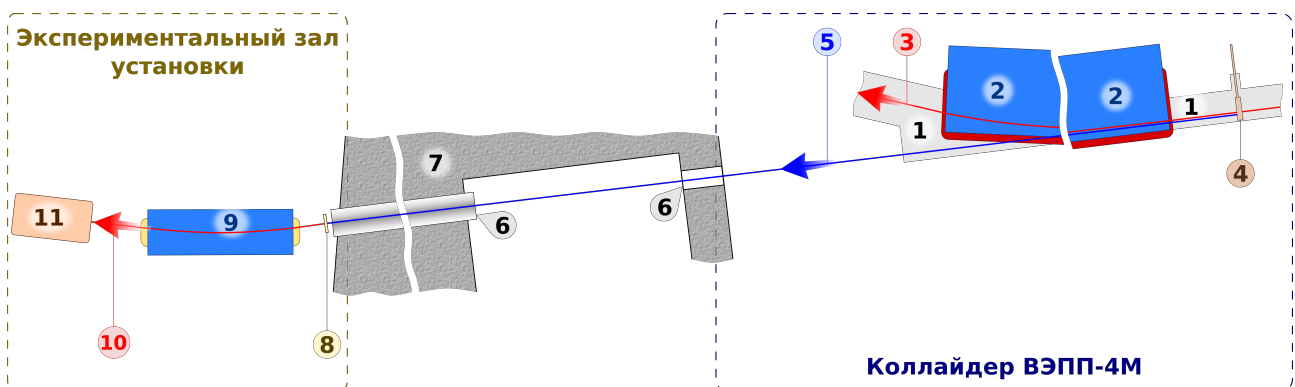


Рис.3.18: Схема получения тестового пучка электронов: 1 – вакуумная камера, 2 – дипольные магниты коллайдера ВЭПП-4М, 3 – первичные электроны, 4 – подвижной конвертор, 5 – тормозные гамма-кванты, 6 – каналы, 7 – бетонная стена (радиационная защита), 8 – конверсионная мишень, 9 – поворотный магнит, 10 – тестовые электроны, 11 – прототип детектора.

пространственного разрешения и толщины детекторов. Получены следующие результаты: толщина детектора $(0.203 \pm 0.003)\% X_0$, пространственное разрешение $(35 - 50)$ мкм. Экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами расчетов.

1.3.8 ЛАЗЕРНЫЙ ПОЛЯРИМЕТР

Эксперименты с детектором КЕДР на ВЭПП-4М требуют измерение энергии пучка. Самым точным методом калибровки энергии релятивистских пучков в накопительных кольцах является метод резонансной деполаризации. Физическая программа детектора КЕДР подразумевает работу на энергии выше 2 ГэВ для измерения величины R , прецизионного определения параметров Υ резонансов, а также для двухфотонной физики.

На низкой энергии, т.е. в области энергии ψ -мезонов, на ускорителе ВЭПП-4М поляризация определяется по интенсивности внутрисгусткового рассеяния (эффект Тушека). Однако сечение внутрисгусткового процесса быстро падает с ростом энергии. Поэтому для измерения поляризации пучка планируется использовать обратное комптоновское рассеяние. Данный метод основан на асимметрии рассеяния циркулярно поляризованного лазерного излучения на вертикально поляризованном релятивистском пучке (рис. 19).

Сравнивая положения пятна рассеянных гамма квантов для левой и правой поляризации лазера можно измерить величину вертикальной поляризации электронного пучка:

$$P_{\perp} = \frac{2m_e c^2}{\hbar \omega_0} \frac{\Delta y}{L},$$

где m_e — масса электрона, ω_0 — энергия лазерного фотона, L — расстояние от места рассеяния до места регистрации гамма кванта, Δy — разница положений пятен для левой и правой поляризации лазера. В нашем случае $\Delta y \approx 0.1$ мм, размер пятна от рассеянных гамма квантов в детекторе составляет около 8 мм.

Лазерное излучение при помощи системы управляемых подвижных зеркал вводится через оптические окна внутрь вакуумной камеры ускорителя. Место встречи фотонов с электронами должно находиться в прямолинейном промежутке около квадрупольных линз. Это место было выбрано как наиболее оптимальное с точки зрения величины вертикального разброса импульсов в пучке.

Рассеянные гамма кванты конвертируются в заряженные частицы в свинцовой пластине толщиной 12 мм, которые регистрируются при помощи двухкоординатного детектора на основе ГЭУ с разрешением 300 мкм.

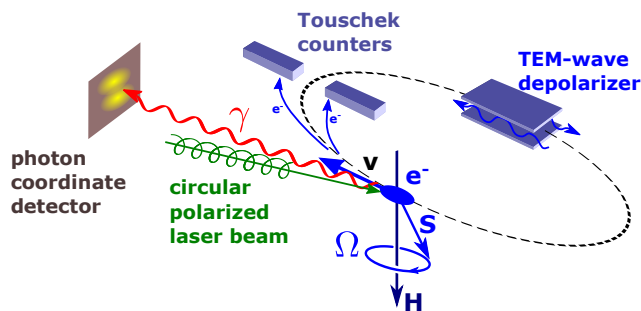


Рис.3.19: Вертикально поляризованный электронный пучок деполаризуется ТЕМ-волной. Поляризация измеряется по интенсивности внутрисгусткового рассеяния (эффект Тушека) или по верх-низ асимметрии обратного комптоновского рассеяния циркулярно поляризованных лазерных фотонов

В 2017 году произведена замена вакуумных зеркал для ввода лазерного излучения в вакуумную камеру. В результате интенсивность комптоновского рассеяния выросла в два раза.

Вместо имеющегося лазера с энергией импульса 200 мкДж был введён в эксплуатацию новый лазер с энергией импульса 500 мкДж с частотой повторения импульсов до 4кГц. Количество рассеянных фотонов на частоте работы 2кГц составляет 3 кГц/мА. Для нового лазера разработана система запуска и управления поляризацией, которая переключает поляризацию на каждую вспышку лазера при помощи ячейки Погкельса, а не один раз в секунду, как в ранее.

Изготовлен новый детектор (рис. 21) на основе тройного ГЭУ. Детектор выполнен по новой разборной технологии.

Для нового детектора разработана электроника, закуплены комплектующие. Изготовлены 24 гибридные платы. В настоящее время ведётся монтаж двух плат для тестирования.

В 2017 году проведены первые калибровки энергии (рис. 22) при помощи лазерного поляриметра с использованием детектора от эксперимента ДЕЙТРОН. Измерения проводились на энергии 4 и 4.1 ГэВ. Измеренная энергия пучка и магнитное поле методом ЯМР позволила прокалибровать энергетическую шкалу ВЭПП-4М для эксперимента по измерению величины R в диапазоне от $2E = 4.56$ ГэВ до 6.96 ГэВ.

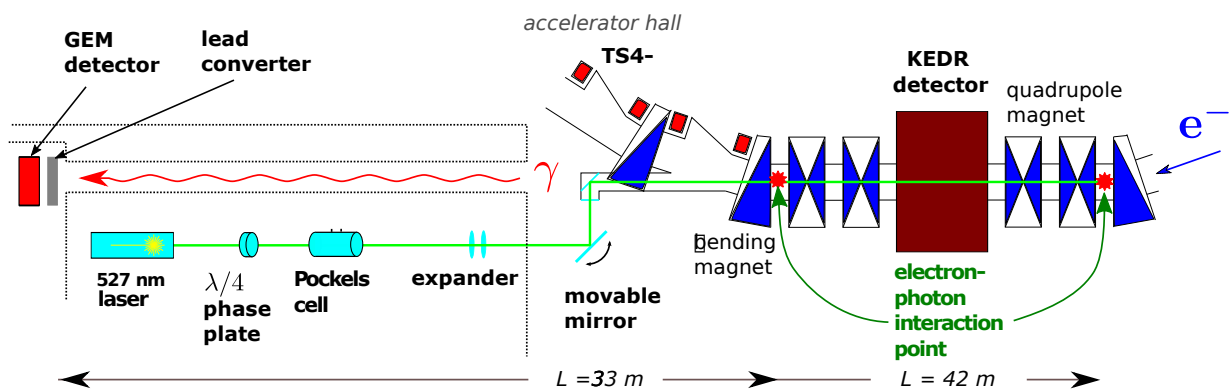


Рис.3.20: Схема лазерного поляриметра. Место встречи фотонов и электронов расположено около квадрупольных линз. Двухкоординатный детектор фотонов располагается на расстоянии 40 м от места встречи.

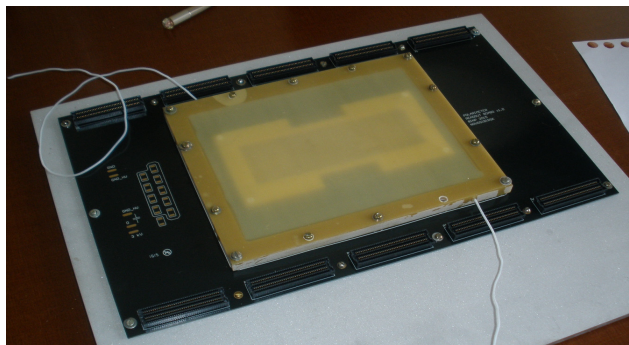
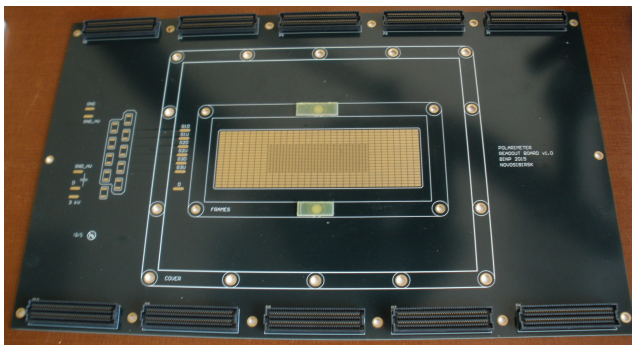


Рис.1.3.21: Плата со считывающей структурой нового детектора (слева). Детектор в сборе (справа)

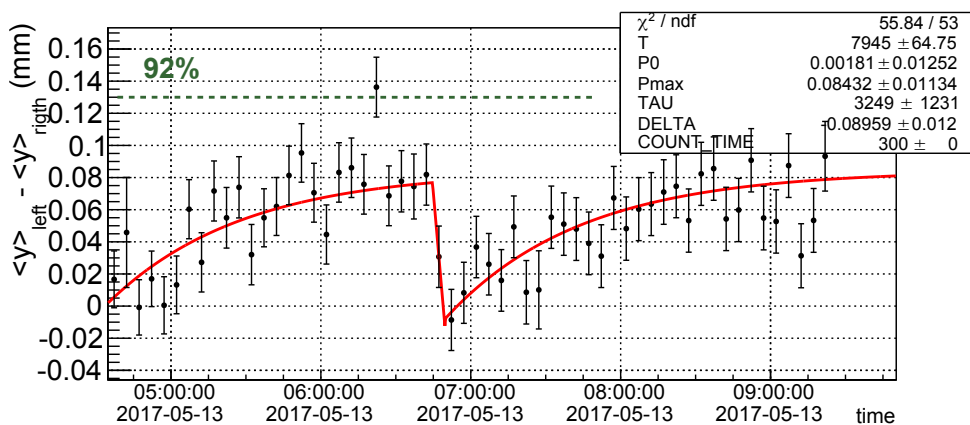


Рис.1.3.22: Первая калибровка энергии с использованием лазерного поляриметра. Показана зависимость асимметрии, выраженной в смещении среднего вертикального положения пятна для левой и правой поляризации лазера. Пунктиром помечана идеальная 92% степень поляризации.

1.4. КРИОГЕННЫЕ И ГАЗОВЫЕ ЛАВИННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Работа по теме криогенных лавинных детекторов и газовых лавинных детекторов проводилась группой сотрудников в нескольких направлениях:

1) Развитие двухфазных криогенных лавинных детекторов (КЛД или CRAD) для низкофоновых экспериментов по поиску темной материи и регистрации когерентного рассеяния нейтрино на ядрах.

2) Разработка новой методики идентификации ионов - с помощью измерения ионизационных потерь ионов во время-проекционной камере (ВПК) низкого давления.

3) Участие в международных коллаборациях DarkSide по поиску темной материи и RD51 по развитию микроструктурных газовых детекторов.

Основной научный задел по этим направлениям сконцентрирован в совместной Лаборатории космологии и элементарных частиц (ЛКЭЧ) Физического факультета НГУ и ИЯФ, созданной в 2011-2015 годах в рамках Мегагранта НГУ (№11.G34.31.0047). Основной целью экспериментальной части ЛКЭЧ является развитие новых методов регистрации ядер отдачи для экспериментов по поиску темной материи и регистрации когерентного рассеяния нейтрино на ядрах - с помощью разработки двухфазных КЛД предельной чувствительности на основе жидкого Ar. Оборудование лаборатории территориально находится в ИЯФ в помещениях ЛКЭЧ, арендуемых НГУ. В 2012-2015 годах были произведены значительные закупки оборудования, в результате чего были полностью укомплектованы криогенно-вакуумные системы разрабатываемого детектора темной материи и частично – системы зарядового и оптического считывания сигналов и считывающей электроники, а также закуплена установка вакуумного напыления. Кроме того, в рамках гранта ИЯФ-РНФ (N 14-50-00080) была оборудована чистая зона для сборки детекторов.

Конечной целью данного проекта является разработка новых методов регистрации темной материи с использованием двухфазных КЛД предельной чувствительности, в Ar и Xe. В основе метода лежит усиление предельно слабых сигналов от ядер отдачи, образованных в криогенной жидкости от рассеяния частиц темной материи, в газовой фазе с помощью электролюминесцентного (ЭЛ) зазора и комбинированного умножителя ГЭУ/ГЛФД на основе каскадных газовых электронных умножителей (ГЭУ) и гейгеровских лавинных фотодиодов (ГЛФД, SiPM). Уникальность разрабатываемого двухфазного КЛД состоит в том, что он должен быть способен работать в режиме счёта одиночных электронов первичной ионизации, что соответствует очень маленькой энергии, выделенной в жидкости (менее 1 кэВ), причём с достаточно высоким пространственным разрешением (менее 1 см) и крайне низким уровнем шума. Предельная чувстви-

тельность детектора достигается за счёт оригинальной идеи по усилению сигнала дважды - как в ЭЛ зазоре, который обеспечивает превосходное амплитудное и временное разрешение, так и в комбинированном умножителе ГЭУ/ГЛФД, который обеспечивает превосходное координатное разрешение. Такой детектор будет существенно (в несколько раз) превосходить имеющиеся детекторы темной материи по чувствительности за счёт способности работать в режиме счёта одиночных электронов при улучшенном (менее 1 см) пространственном разрешении.

В 2017 году в соответствии с планом работ была продолжена разработка двухфазных криогенных лавинных детекторов (КЛД) предельной чувствительности на основе гейгеровских лавинных фотодиодов (ГЛФД, кремниевых фотоумножителей) в Ar для поиска частиц темной материи. В частности, были измерены характеристики двухфазного КЛД в Ar с электролюминесцентным (ЭЛ) зазором и считыванием на матрицу ГЛФД.

На Рис. 1.4.1 показана сборка детектора с дрейфовым промежутком и электролюминесцентным зазором, считываемым 4 криогенными ФЭУ (см. тефлоновые цилиндры по периметру) и ГЛФД матрицей (см. жгуты подводящих проводов снизу), перед монтажом в двухфазный КЛД. В ходе нескольких криогенных заходов были изучены следующие характеристики двухфазного КЛД с ЭЛ зазором: электролюминесцентный выход с зазора при считывании на криогенные ФЭУ и ГЛФД матрицу.

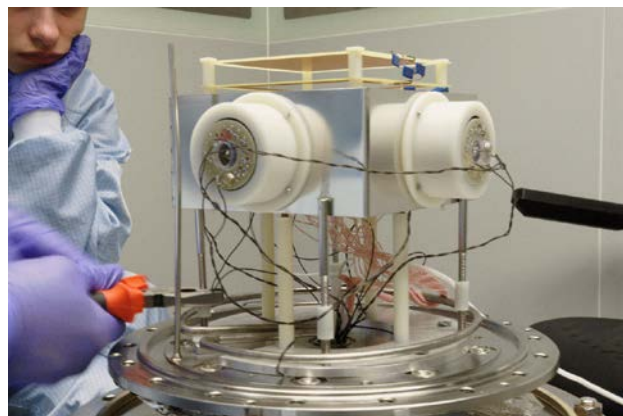


Рис. 1.4.1. Сборка детектора с дрейфовым промежутком и электролюминесцентным зазором, считываемым 4 криогенными ФЭУ (см. тефлоновые цилиндры по периметру) и ГЛФД матрицей (см. подводящие к ней провода снизу), перед монтажом в двухфазный КЛД.

Кроме того, в 2017 году было продолжено развитие новых методов регистрации нейтрино и поиска темной материи в низкофоновых экспериментах с помощью КЛД с использованием газовых электронных умножителей (ГЭУ). В частности, были изучены характеристики двухфазного КЛД с комбинированным

умножителем ТГЭУ/ГЛФД-матрица (толстые газовые электронные умножители/гейгеровские лавинные фотодиоды), с новой матрицей ГЛФД большей площадью, а именно с матрицей размером 5x5 элементов.

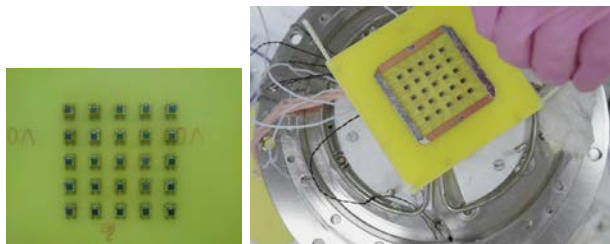


Рис. 1.4.2. Варианты матриц размером 5x5, смонтированных из элементов ГЛФД двух разных производителей – СРТА (Москва, Россия) и Намаматatsu (Япония), показанных соответственно слева и справа.

На Рис. 1.4.2 показаны варианты матриц размером 5x5, смонтированных из элементов ГЛФД двух разных производителей – СРТА (Москва, Россия) и Намаматatsu (Япония). По результатам испытаний их работы в двухфазном КЛД, предпочтение было отдано Намаматatsu вследствие большей надежности и воспроизводимости работы при криогенных температурах.

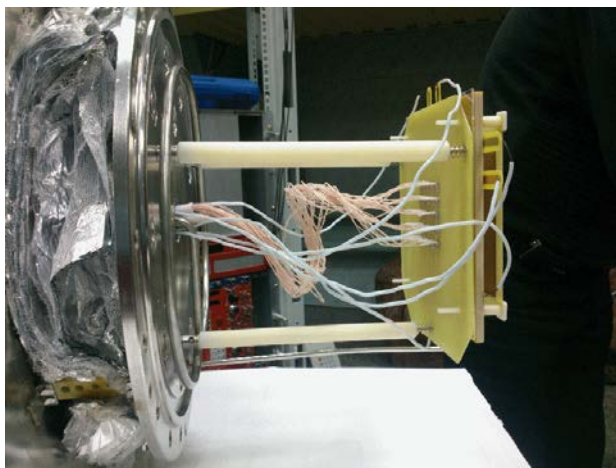


Рис. 1.4.3. Комбинированный умножитель ТГЭУ/ГЛФД-матрица перед монтажом в двухфазный КЛД.

На Рис. 1.4.3 показан комбинированный умножитель ТГЭУ/ГЛФД-матрица перед монтажом в двухфазный КЛД. В ходе нескольких криогенных заходов были изучены следующие характеристики двухфазного КЛД с комбинированным умножителем ТГЭУ/ГЛФД-матрица с целью применения в фоновых экспериментах: зарядовое усиление ТГЭУ, световыход комбинированного умножителя ТГЭУ/ГЛФД-матрица, амплитудное разрешение при облучении различными источниками ионизирующих излучений.

В 2017 году были продолжены работы по разработке новой методики идентификации ионов - с помощью измерения ионизационных потерь ионов во время-проекционной камере (ВПК) низкого давления на основе ГЭУ. Эта методика будет иметь практическое применение в области безопасности полетов космических аппаратов, а также в области ускорительной масс-спектрометрии для датировки биологических объектов.

С 2015 года группа является членом международной коллаборации DarkSide-20k (Гран-Сассо, Италия) по поиску темной материи, - единственному действующему эксперименту по поиску темной материи, где используется жидкий аргон.

Группа является членом международной коллаборации RD51 в CERN по развитию микроструктурных газовых детекторов, образованной в 2008 году.

В 2017 году работы по криогенным лавинным детекторам были поддержаны грантами РФФИ (14-50-00080), РФФИ (16-12-10037) и РФФИ (15-02-01821).

1.5. ЭКСПЕРИМЕНТ BABAR

Продолжается обработка экспериментальных данных, накопленных на детекторе BABAR на электрон-позитронном коллайдере PEP-II (SLAC, США). В настоящее время в этом эксперименте физики ИЯФ занимаются измерением адронных сечений методом радиационного возврата, изучением двухфотонного рождения легких адронов и распадов τ -лептонов.

В 2017 году закончено многолетнее исследование процессов e^+e^- аннигиляции в конечные состояния $K\bar{K}\pi$ и $K\bar{K}\pi\pi$. Для процесса $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}\pi$ ранее были измерены две зарядовые комбинации $K^+K^-\pi^0$ и $K_S K_L^\pm \pi^\mp$. Последняя «нейтральная» комбинация $K_S K_L \pi^0$ измерена в 2017 году. В этом процессе доминирует промежуточное состояние $K^* \bar{K}$. Новое измерение позволило безмодельным способом получить полное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}\pi$. Оно приведено на рисунке 1.5.1. Красные точки показывают вклад сечения для $K^+K^-\pi^0$, голубые — сумму сечений для $K^+K^-\pi^0$ и $K_S K_L \pi^0$, а черные — полное сечение для трех зарядовых мод. Сечение $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}\pi$ в максимуме составляет около 12% от полного сечения e^+e^- аннигиляции в адроны и важно для расчета адронного вклада в аномальный магнитный момент мюона.

Процесс $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}\pi\pi$ содержит шесть зарядовых комбинаций. Четыре из них, $K^+K^-\pi^+\pi^-$, $K^+K^-\pi^0\pi^0$, $K_S K_L \pi^+\pi^-$ и $K_S K_S \pi^+\pi^-$ были измерены ранее. В 2017 впервые были измерены сечения для двух последних зарядовых мод $K_S K_L \pi^0\pi^0$ и $K_S K^\pm \pi^\mp \pi^0$. Сечение для моды $K_S K_L \pi^0\pi^0$ оказалось относительно малым и измерено с точностью 25%. Доминирующим промежуточным состоянием для этого процесса является $K^* \bar{K}\pi$. Коррелированное рождение двух K^* -мезонов оказалось малым. Сечение для моды $K_S K^\pm \pi^\mp \pi^0$ измерено с точностью 6-7% ниже 3 ГэВ.

Доминирующими промежуточными состояниями для этого процесса являются $K^* \bar{K}\pi$ и $K_S K^\pm \rho^\mp$. Коррелированное рождение двух K^* -мезонов — мало, менее 15%, и определяется в основном заряженной модой $K^{*+}K^{*-}$. Рисунок 1.5.2 показывает нарастающую сумму сечений для шести зарядовых мод. Черные точки — это полное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}\pi\pi$. Оно дает значимый, около 25%, вклад в полное адронное сечение вблизи 2 ГэВ. Также в работах впервые измерены сечения процессов $K_S K_L \eta K_S K_L \eta$ и $K_S K^\pm \pi^\mp \eta$.

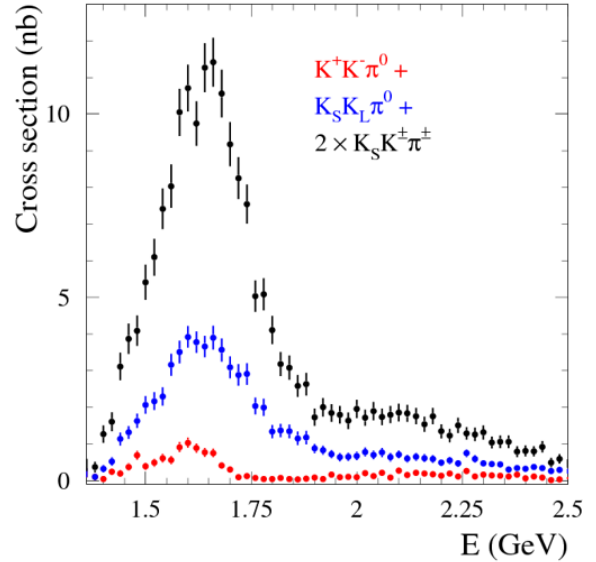


Рис. 1.5.1. Полное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}\pi$, полученное как сумма сечений измеренных в трех зарядовых модах:

$$\sigma(K^+K^-\pi^0) + \sigma(K_S K_L \pi^0) + 2\sigma(K_S K^\pm \pi^\mp).$$

Красные точки показывают вклад сечения для $K^+K^-\pi^0$, голубые — сумму сечений для $K^+K^-\pi^0$ и $K_S K_L \pi^0$.

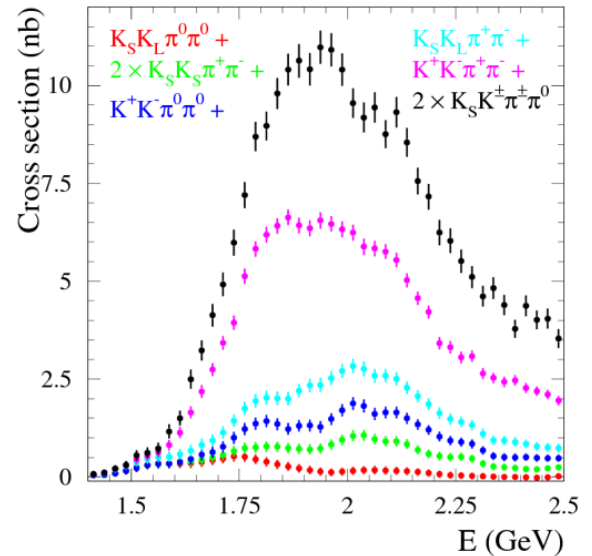


Рис.1.5.2. Нарастающая сумма сечений для шести зарядовых мод процесса $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}\pi\pi$. Черные точки показывают полное сечение.

1.6. УЧАСТИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ АТЛАС НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ (БАК)

В 2017 году детектором АТЛАС был продолжен набор статистики при энергии столкновений протонов 13 ТэВ в системе центра масс. Максимальная светимость Большого Адронного Коллайдера впервые вдвое превысила проектное значение и достигла уровня $2 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Интеграл светимости, набранной за один год работы, также рекордный – 43,6 обратных фемтобарн.

Всего в 2017 году коллаборацией АТЛАС при участии группы ИЯФ опубликовано более 70 работ, из них 30 по результатам так называемого «захода 2», начавшегося в 2015 году и проводимого при энергии столкновений протонов 13 ТэВ в системе центра масс.

При участии физиков ИЯФ получены результаты и отправлена статья в журнал EPJС по поиску новых (более тяжелых) хиггсовских бозонов в каналах распада либо на четыре заряженных лептона, либо на два заряженных лептона и два нейтрино через промежуточное состояние с двумя Z бозонами. Работа основана на анализе статистики, набранной детектором АТЛАС в 2015 и 2016 годах (36.1 обратных фемтобарн) при энергии сталкивающихся протонов 13 ТэВ в системе центра масс. Существование дополнительных тяжелых бозонов Хиггса предсказывается некоторыми расширениями Стандартной Модели, такими как модель с двумя хиггсовскими дуплетами (2HDM) и модель с электрослабым синглетом (EWS). В анализе изучены различные диапазоны масс в зависимости от конечного состояния и рассматриваемой модели. В объединении они покрывают область от 200 ГэВ до 2000 ГэВ. Почти во всей этой области число отобранных событий в данных согласуется с оцененным вкладом фоновых процессов Стандартной Модели. Однако при массе около 705 ГэВ в канале с четырьмя заряженными лептонами имеется превышение данных над ожидаемым уровнем фона на «глобальном» уровне значимости около 2,2 стандартных отклонений (с учетом, что ведется поиск любых положительных флуктуаций в широком интервале масс). Однако в канале с двумя заряженными лептонами и двумя нейтрино в этой области масс никакого превышения числа событий в данных над фоном не наблюдается, при том что ожидаемое число зарегистрированных сигнальных событий в этом канале выше. Результаты представлены в виде верхних пределов на сечение рождения резонансов со спином 0 или 2. Верхние пределы для спина 0 также представлены в виде исключающих контуров в контексте модели 2HDM, а результаты для спина 2 использованы для получения

ограничений на сечение рождения гравитона из модели Рэндалл-Сандрума с дополнительными измерениями.

Физики ИЯФ также занимаются детальным изучением процесса распада Z бозона на два лептона (электрон-позитрон либо пара мюонов) и фотон. Анализ близок к стадии одобрения и публикации, осенью 2017 г. была создана так называемая «редакционная группа». В настоящее время проводится уточнение систематических ошибок измерения, а также изучение модельной зависимости вкладов Стандартной Модели в различных Монте-Карло генераторах. Также обсуждается возможность параметризовать гипотетический вклад «новой физики» в этом процессе в рамках модели эффективного лагранжиана, описывающего «прямое» четырехчастичное взаимодействие в вершине $Zll\gamma$.

В 2017 году физики ИЯФ продолжили работу по измерению эффективности идентификации электронов и позитронов низких энергий в распадах J/ψ методом «tag & probe» (меченый и пробный). Эффективность определённого идентификационного условия измеряется отдельно в экспериментальных данных и в моделировании, в результате чего определяется поправочный коэффициент для моделирования, называемый scale factor, являющийся отношением эффективности в данных к эффективности в моделировании. Важность получения этих поправок обусловлена тем, что точность, с которой моделируется эффективность регистрации электронов, играет важную роль в измерении сечений и поиске новой физики. В 2017 году была улучшена процедура подгонки распределения инвариантной массы электрона и позитрона, а также были получены итоговые поправочные коэффициенты к моделированию с использованием данных 2015 и 2016 годов. Порог на поперечную энергию электронов и позитронов был впервые снижен до 4,5 ГэВ. Данное снижение порога позволит значительно увеличить эффективность отбора сигнала во многих физических анализах, занятых поиском физики вне Стандартной модели, а также в некоторых анализах известных процессов, например, в распаде бозона Хиггса на 2 электрон-позитронные пары. Также в 2017 году была произведена валидация новых $J/\psi \rightarrow ee$ триггеров, использующих новые отборочные условия на первом уровне триггера. С использованием новых триггеров, давших значительный (в несколько раз) прирост числа сигнальных событий, была произведена обработка полной статистики 2017 года. Получены поправочные коэффициенты для трех разных наборов идентификационных критериев (мягкого, умеренного и жесткого) и представлены в виде двумерной таблицы с 4 ячейками по поперечной энергии (в интервале от 4,5 до 20 ГэВ) и 6 ячейками по

псевдобыстроте (нелинейной функции полярного угла).

В 2017 году в EGamma-группе триггера физиками ИЯФ проводились работы по переносу оффлайн алгоритма восстановления суперкластеров (объект, который объединяет в себе для электронов основной кластер от самого электрона и кластеры от тормозных фотонов) в электромагнитном калориметре для работы в условиях триггера. Данные работы важны для повышения синхронизации между обработкой данных онлайн и оффлайн, а так же для улучшения энергетического разрешения триггера и повышения эффективности его работы. Разработанный код помещён в репозиторий программного обеспечения детектора ATLAS, ведутся работы по его тестированию. Планируется, что новый триггерный алгоритм будет использоваться в наборе данных 2018 года.

Особенностью БАК является огромное количество фоновых столкновений (до 60-70 на одно пересечение пучков в данных 2017 г.), сопровождающих событие интересного физического процесса. В настоящий момент на детекторе ATLAS основным способом учета фона является “pile-up” – метод суперпозиции сигнального процесса и моделирования большого количества частиц, образованных от дополнительных столкновений протонов. Недостатком этого метода является линейный рост процессорного времени оцифровки событий моделирования с числом столкновений внутри одного пересечения сгустков. В качестве альтернативы было предложено проводить предварительную оцифровку фоновых событий и только затем накладывать их на сигнальные. Уменьшение процессорного времени происходит за счет того, что оцифровка фоновых событий проводится один раз за всю кампанию моделирования и используется затем при моделировании различных процессов. В целях более подробного изучения всех достоинств и недостатков метода физиками ИЯФ были проведены первые большие тесты нового метода для разных видов сигнального моделирования и показаны его преимущества по сравнению со стандартным методом, однако остается открытым вопрос об использовании одних и тех же фоновых событий для моделирования разных процессов. Было проведено сравнение распределений, полученных методом наложения, с событиями стандартного моделирования для трековой системы и калориметров, и продемонстрировано хорошее согласие между подходами для большинства характеристик.

Физики ИЯФ участвуют в работах по поддержке и развитию программного обеспечения для контроля качества физических данных и данных калибровок жидкоаргонового калориметра. Также ведутся работы по поддержке и развитию моделирования

калориметров. В 2017 году был проведен перенос ряда калибровок и коррекций жидкоаргонового калоримера, рекомендованных к применению группой Egamma, на уровень ячеек. В частности это множитель, приводящий в соответствие энергывыделения в 1 и 2 слоях калориметра, общая для всего калориметра энергетическая калибровка, коррекция различия утечек в моделировании и эксперименте. Проведенная проверка показала, что перенос калибровок на уровень ячеек проведен корректно.

С 2015 года физиками ИЯФ осуществляется поддержка и развитие информационной страницы дежурного по контролю за качеством данных жидкоаргонового калориметра LADIES Page 1. В 2017 году поддержка страницы и сопутствующей ей структуры была продолжена. За год было три значительных обновления и более трёх десятков зафиксированных в системе контроля версий исправлений и улучшений. Поддержка будет продолжена в 2018 году.

С 2007 года специалисты ИЯФ непрерывно принимают участие в деятельности группы системного администрирования системы сбора данных эксперимента ATLAS (ATLAS TDAQ SysAdmin Group). В 2017 году специалист из группы ИЯФ принимал участие в двух блоках круглосуточных дежурств (один блок составляет 7 дней). В обязанности дежурного входит мониторинг системы TDAQ, а также поддетекторов. Также принималось участие в текущих работах по модернизации, поддержанию работоспособности систем и других задачах по администрированию, как программной части, так и аппаратной. В конце ноября работа коллайдера была планово остановлена до весны 2018 года. В начале плановой остановки было установлено около 400 новых компьютеров для вычислительной фермы TDAQ. В это время было начато обновление операционной системы компьютеров одной из важных систем детектора – DCS (Detector Control System). Обновление происходит поэтапно и продлится до конца января 2018 года. Переход происходит с ОС SLC6.8 на более новую ОС CC7. Также было произведено обновление сервиса Gateway, который осуществляет доступ к внутренней ограниченной сети детектора ATLAS - ATCN.

Начиная с 2008 года специалисты ИЯФ вносят весомый вклад в создание и развитие важнейших сервисов и утилит для управления системой распределенных вычислений (ATLAS GRID). В рамках программы развития и расширения распределенной системы обработки эксперимента ATLAS в 2017 году происходило плановое развитие и обновление информационного обеспечения грид-сети эксперимента – информационной системы AGIS

(ATLAS GRID Information System), непосредственно описывающей вычислительные ресурсы эксперимента и компьютерную модель в целом. В рамках данного этапа работы по модернизации и расширению функциональности информационной системы AGIS для эксперимента ATLAS в течение 2017 года была выполнена кампания по обновлению и реструктуризации описания объектов элементов хранения (StorageElements) предоставляемых сайтами грид-сети. Основная цель данной задачи состояла, прежде всего, в улучшении удобства администрирования для пользователей в системе AGIS протоколов доступа (ServiceProtocol) к ресурсам грид узла распределенного хранилища данных (объекты DDMEndpoints) инфраструктуры грид для различных сценариев доступа. В результате данной кампании все активные сайты в системе AGIS были успешно перенесены на новую архитектуру описания объектов хранения в системе.

В начале 2017 года ИЯФ СО РАН подписал Соглашение с ЦЕРН о развитии продукта AGIS, его применимости за пределами эксперимента АТЛАС и создании объединенной информационной системы в рамках проекта WLCG (The Worldwide LHC Computing Grid или всемирная GRID сеть экспериментов БАК) для описания топологии ресурсов и настройки сайтов для экспериментов БАК. В рамках данного соглашения были проведены работы по реализации проекта CRIC, затрагивающие расширение информационной модели и структуры данных системы GRID, модернизацию информационного обеспечения сети эксперимента АТЛАС и также работы по созданию базовых функциональных модулей для соответствующих информационных плагинов системы, ориентированных на другие коллаборации (в частности, CMS и COMPASS). Разработанные функциональные модули системы ГРИД были успешно установлены на тестовые сервера прототипа системы. Происходит тестирование функционала пользовательского интерфейса на примере плагина CRIC CMS.

Основным поставщиком вычислительных ресурсов для обработки данных с экспериментов на БАК является глобальная сеть WLCG, объединяющая более 170 компьютерных центров. Несмотря на большую производительность сети WLCG, для потребностей БАК она не имеет значительных резервов и накладывает определенные ограничения на проведение расчётов. Поэтому ведутся работы по увеличению производительности системы обработки путем вовлечения дополнительных вычислительных ресурсов: коммерческие вычислительные облака, суперкомпьютеры в свободное от выполнения основных задач время, и добровольческие ресурсы. Участники добровольческого проекта

ATLAS@HOME выполняют на своих компьютерах моделирование событий детектора АТЛАС. В 2017 году сотрудник ИЯФ организовал технологический процесс выполнения заданий моделирования типа Event Service на добровольческих ресурсах ATLAS@HOME. Были выполнены следующие работы:

- организовано программное окружение, «обертывающее» особенности выполнения задач на добровольческих ресурсах для их запуска и отладки компонент на грид-ресурсах;
- сконфигурированы две очереди Panda Queue: очереди для тестирования разработчика и рабочей очереди для запуска заданий на ресурсах добровольцев из проекта ATLAS@HOME;
- реализована новая функциональность: получение/обновление диапазона событий через Panda Proxy, новый sitemover для сохранения выходных файлов по ссылкам, предварительно полученным от Panda Proxy;
- организовано поэтапное тестирование: в искусственном окружении на грид-ресурсе, на тестовых машинах, на машинах добровольцев.

Планируется, что светимость БАК будет повышена с нынешнего уровня $1,5 \cdot 10^{34} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ до $1,9\text{-}2,2 \cdot 10^{34} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ в 2018 году и до $5 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ в 2026 году. Сотрудники ИЯФ участвуют в работах по подготовке будущих апгрейдов систем детектора АТЛАС – в эксперименте по исследованию работоспособности жидко-аргоновых калориметров при высоких нагрузках и в разработке новой электроники для цифровой обработки сигналов триггера электромагнитного калориметра.

В рамках подготовки к циклу экспериментов с увеличенной светимостью, в университете г. Пиза (Италия) проводились экспериментальные исследования долговременной стабильности ФЭУ, которые используются в качестве фотодетекторов в адронном калориметре детектора АТЛАС. Главным вопросом был выбор ФЭУ, которые будут использованы в калориметре в условиях высокой светимости во втором цикле. Выбор производился между двумя кандидатами: ФЭУ фирмы Hamamatsu типа R7877, которыми в настоящее время оснащён адронный калориметр, и, по заявлению производителей, его улучшенная версия, ФЭУ типа R1187. Для расчёта усиления ФЭУ использовался метод, разработанный и реализованный с непосредственным участием специалистов из ИЯФ. Суть метода и результаты, полученные с его использованием, а также подробное описание экспериментальной установки докладывались на конференции INSTR-2017, проводимой в Новосибирске, по материалам доклада была опубликована статья. По измерениям в 2017 году

сделан вывод, что новый тип ФЭУ R11187 показывает лучшую стабильность сигнала. Результаты измерений использованы в технической документации модернизации адронного калориметра детектора АТЛАС. В дальнейшем планируется продолжить измерения для достижения нагрузок на ФЭУ, сопоставимых с теми, что будут при эксплуатации калориметра в экспериментах с увеличенной светимостью.

Продолжалась обработка данных эксперимента по изучению работоспособности жидко-аргоновых калориметров детектора АТЛАС при светимости до 10^{35} см⁻² сек⁻¹. На выведенном пучке протонов с энергией 50 ГэВ ускорителя У-70 в Протвино проводилось облучение мини-модулей калориметров (переднего, электромагнитного и адронного). Интенсивность пучка могла изменяться в очень широких пределах, 10^6 - 10^{12} частиц в секунду. При больших значениях интенсивности, когда пространственный заряд в зазоре камеры значительно превышает заряд на электродах, электрическое поле в зазоре сильно искажается, что приводит к изменению амплитуды и формы импульса. Основной проблемой при обработке данных эксперимента является обнаруженный только на этапе анализа данных эффект падения величины сигнала в мониторе интенсивности пучка протонов при больших значениях мгновенной интенсивности. Была проведена работа по параметризации эффекта падения сигнала в черенковском детекторе с целью разработки процедуры поправки к интенсивности во всем измеряемом интервале.

В 2017 году продолжились работы по разработке электроники жидкоаргонового калориметра, которая включала в себя развитие дизайна блока выходного сумматора (BC, Output summing) модуля LATOME. Был разработан протокол передачи данных поперечной энергии для первичного триггера L1Calo. Он выложен в составе общей документации на прошивку модуля LATOME для рассмотрения и утверждения всеми заинтересованными сторонами.

Существуют 3 подсистемы триггера L1Calo, в которые выдаются данные от модуля LATOME – eFEX, jFEX и gFEX. Они составляют часть Блока Суммирования и Кодирования (БСиК). В eFEX выдаются значения выделенной поперечной энергии внутри суперячеек. В системы jFEX необходимо выдавать суммарную энергию по триггерной башне, а для gFEX – суммарную энергию по системе из 4 триггерных башен. Было подготовлено несколько наборов тестовых данных, покрывающих все возможные случаи протоколов подсистем eFEX и jFEX. Работа БСиК была промоделирована на этих данных с использованием программного симулятора QuestaSim, и было получено подтверждение корректности работы этого блока.

В декабре 2017 года работа модуля LATOME была проверена на реальном оборудовании для подсистемы eFEX. Тестирование модуля LATOME будет продолжено в 2018 году.

Предполагаемое увеличение светимости БАК к 2026 году требует замены всей электроники жидко-аргонового калориметра. Для определения оптимальной конфигурации новой электроники в 2017 году было проведено исследование различных факторов, влияющих на выбор конкретного решения.

Одними из ключевых параметров являются требуемый динамический диапазон электроники и необходимая точность его оцифровки (схема оцифровки). Динамический диапазон определяется наименьшими и наибольшими сигналами, которые, как ожидается, необходимо будет измерять в ячейках калориметра. Нижнюю границу динамического диапазона задают собственные шумы электроники и величина сигнала от минимально ионизирующих частиц в одной ячейке. Верхняя граница оценивалась из моделирования некоторых физических процессов с наибольшим энерговыделением в ячейках калориметра. Сопоставляя полученные величины был сделан вывод, что электроника калориметра должна иметь как минимум 16-ти битный динамический диапазон. В качестве основной схемы оцифровки была выбрана схема с двумя коэффициентами усиления ($x1/x30$), каждый из которых оцифровывается 14-ти битным АЦП с 12-ти битным разрешением.

Еще одним важным требованием для выбора схемы электроники является необходимость оцифровывать все сигналы ячеек калориметра как для фотонов процесса $H \rightarrow \gamma\gamma$, так и для электронов калибровочного процесса $Z \rightarrow ee$ при одинаковом коэффициенте усиления. Текущая схема с тремя коэффициентами усиления ($x1/x10/x100$) с оцифровкой 12-разрядными АЦП приводит к тому, что при регистрации фотонов от распада бозона Хиггса значительная доля ячеек калориметра попадает в средний диапазон усиления. Тогда как для калибровочного процесса $Z \rightarrow ee$ практически все ячейки оцифровываются в канале с наибольшим усилением. Это является причиной систематической ошибки в определении энергетической шкалы калориметра, и сказывается на точности определения массы хиггсовского бозона в двухфотонном канале распада. С помощью моделирования процесса двухфотонного распада хиггсовского бозона было проверено, что большинство ячеек в фотонных кластерах оцифровываются в канале с высоким коэффициентом усиления в предлагаемой схеме оцифровки.

Результаты этих исследований включены в документ “ATLAS Liquid Argon Calorimeter Phase-II Upgrade Technical Design Report”.

1.7. ЭКСПЕРИМЕНТ BELLE

1.7.1. Основные результаты.

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

Сотрудники Института внесли большой вклад в создание электромагнитного калориметра детектора Belle как на этапе проектирования, так и при изготовлении элементов этого самого большого в мире калориметра на основе монокристаллов йодистого цезия, его сборке и наладке.

В 2010 году работа детектора Belle была остановлена для модернизации. Набранная к настоящему моменту интегральная светимость превышает 10^{40} обратных фемтобарн. Сейчас продолжается обработка этих экспериментальных данных. В то же время идет подготовка к эксперименту Belle II: ведется модернизация детектора и ускорителя для увеличения светимости установки и подготовки экспериментов, которые позволят на порядок улучшить точность измерения параметров CP-нарушения и, возможно, наблюдать проявление физических явлений, выходящих за рамки Стандартной Модели.

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

Ниже приведены основные результаты работы за 2017 год.

- Относительные вероятности двухчастичных процессов $e^+e^- \rightarrow B_s^{(*)}B_s^{(*)}$ при энергии $\Upsilon(5S)$ -резонанса были измерены с наилучшей на текущий момент точностью.
- Впервые была измерена энергетическая зависимость сечения процесса $e^+e^- \rightarrow B_s^*B_s^*$ в диапазоне энергий от порога рождения 10,77 ГэВ до энергии 11,02 ГэВ в системе центра масс.
- Продолжается изучение распадов τ -лептона в три псевдоскалярных заряженных мезона и нейтрино.
- Продолжается работа по измерению параметров Мишеля в распадах τ -лептонов.

- Завершён анализ радиационных лептонных распадов тау $\tau \rightarrow l \text{anti-}\nu_l \nu_\tau$ ($l = e, \mu$). Также были измерены относительные вероятности этих распадов.
- Продолжено изучение распадов $B \rightarrow D^{**}\pi$ с последующим распадом $D^{**} \rightarrow D\pi\pi$.
- Задний торцевой калориметр был установлен на детектор Belle II. Была проведена калибровка формы сигналов с каждого счетчика.
- Цилиндрический и задний торцевой калориметры были включены в систему сбора данных (ССД) детектора. Информация с них и еще нескольких систем записывалась в глобальном космическом заходе детектора Belle II.
- Проводились специальные исследования стабильности работы ССД калориметра при высоких нагрузках первичного триггера.
- Был установлен передний торцевой калориметр и набраны данные для калибровки счетчиков этого калориметра.
- Продолжалась разработка и усовершенствование проектов ПЛИС и программного обеспечения калориметра Belle II.
- Проводились разработка проекта ПЛИС и написание программного обеспечения для оперативного измерения светимости КЕКВ по событиям упругого рассеяния.

1.7.2. Анализ данных.

Изучение экзотических состояний боттомония

В 2017 году анализ данных, полученных в эксперименте Belle, продолжился. Относительные вероятности двухчастичных процессов $e^+e^- \rightarrow B_s^{(*)}B_s^{(*)}$ при энергии $\Upsilon(5S)$ -резонанса были измерены с наилучшей на текущий момент точностью. Кроме того, впервые была измерена энергетическая зависимость сечения процесса $e^+e^- \rightarrow B_s^*B_s^*$ в диапазоне энергий от порога рождения 10,77 ГэВ до энергии 11,02 ГэВ в системе центра масс. Полученные результаты показаны на Рис. 1.7.1, где наблюдается существенный вклад от промежуточного резонанса $\Upsilon(5S)$, в то время как статистически значимого вклада от $\Upsilon(6S)$ не обнаружено.

Результаты представлены на международных конференциях, идет подготовка к публикации. Проводимые исследования позволяют получить дополнительную информацию о структуре как “классических” состояний боттомония, таких как $\Upsilon(4S)$, $\Upsilon(5S)$ и $\Upsilon(6S)$, так и экзотических боттомоний-подобных состояний, в частности, недавно обнаруженных четырехкварковых состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$. Кроме того, с учетом полученных результатов была сформирована физическая программа начального этапа набора данных в модернизированном эксперименте Belle II, начало которого запланировано на начало 2018 года. В

частности, принято решение существенно увеличить статистику в области выше $\Upsilon(5S)$ состояния, вплоть до энергии 11,24 ГэВ в системе центра масс.

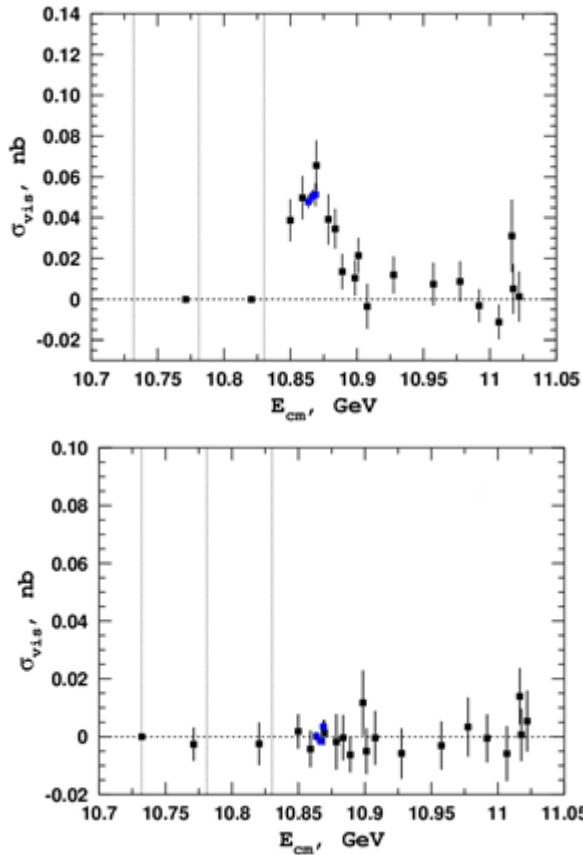


Рис. 1.7.1. Измеренное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow B_s^* B_s^*$ в области сигнала (сверху) и в фоновой области (снизу) для проверки несмещенности используемой процедуры измерений. Вертикальными пунктирными линиями показаны пороги рождения $B_s B_s$, $B_s^* B_s$ и $B_s^* B_s^*$, соответственно.

Изучение распадов тау лептона в $h^+h^-h^0$

Основной источник систематической ошибки в изучении данных распадов – идентификация частиц (каон/пионное разделение). Последние результаты с экспериментов Belle и BaBar измерения вероятностей распадов показывают значительную разницу, которая не укладывается в ошибки измерений. По этой причине было решено провести новое независимое измерение вероятностей распадов на эксперименте Belle с использованием всей доступной статистики. Имеющийся на данный момент интеграл светимости в полтора раза превышает тот объем, на котором были получены предыдущие результаты Belle.

В 2016 году сотрудниками Института была найдена возможность кинематического подавления событий с неправильной идентификацией. Используя этот подход, мы независимым способом проверили точность экспериментальных поправок к идентификации пио-

нов, полученных в рамках данной работы на событиях $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$, используя сигнальные события. В результате этих проверок была улучшена точность описания идентификации пионов при малых импульсах, а полученная ошибка экспериментальных поправок согласуется с нашей оценкой, определенной независимым способом.

Кинематический отбор в распадах $\tau \rightarrow h^+ h^- h^0 \nu$ уменьшил относительную долю заряженных каонов на порядок (по отношению ко всей статистике подобных распадов), при относительной эффективности 25%. Данный подход представляет методический интерес с точки зрения изучения идентификации пионов и получения экспериментальных поправок к эффективности моделирования независимым способом. До этого поправки вычислялись на событиях $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$, $D^* \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$.

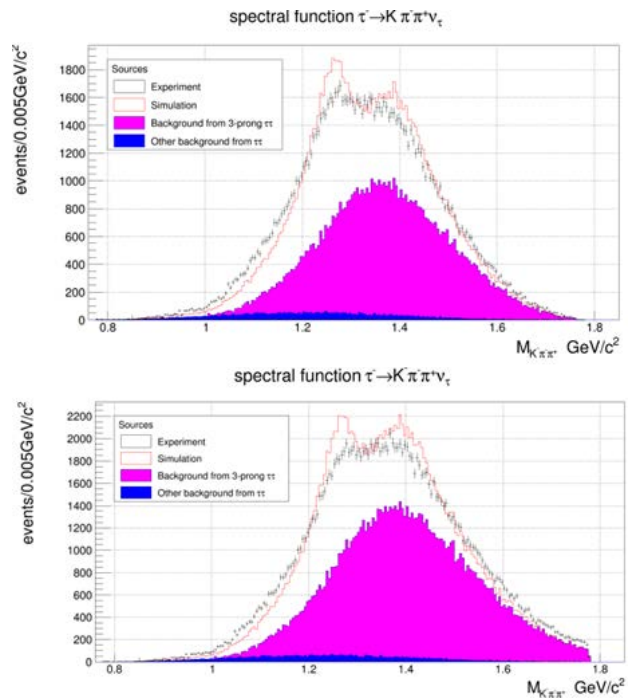


Рис. 1.7.2. Спектральные функции для распада $\tau \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \nu$ с кинематическим отбором (сверху) и без него (снизу). Черная открытая гистограмма – экспериментальные данные, красная открытая – моделирование. Закрашенные гистограммы показывают вклад фона, в частности, сиреневые – фон от распадов $\tau \rightarrow h^+ h^- h^0 \nu$ из-за неправильной идентификации.

Применение кинематических отборов позволяет уменьшить долю событий с неправильной идентификацией для распадов $\tau \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \nu$ в полтора раза, $\tau \rightarrow K^+ K^+ \pi^- \nu$ в два раза и $\tau \rightarrow K^+ K^+ K^- \nu$ в 4,5 раза. Мы обнаружили изменение измеренных вероятностей распадов, связанное с применением кинематического подавления. В настоящее время мы изучаем причину

данного сдвига. Решение этой проблемы позволит уменьшить систематическую ошибку в измерении вероятностей распадов.

Измерение параметров Мишеля в распадах τ

В Стандартной Модели переносчиками заряженного слабого взаимодействия являются векторные калибровочные бозоны W^\pm , которые взаимодействуют с фундаментальными фермионами с левой киральностью (иначе говоря, заряженный слабый ток обладает т.н. V-A структурой относительно преобразований Лоренца). Лептонные распады тау-лептона $\tau \rightarrow l \text{ anti-} \nu_l \nu_\tau$ ($l = e, \mu$) позволяют провести прецизионную экспериментальную проверку структуры заряженного слабого тока. Дифференциальная ширина лептонного распада тау зависит от четырёх параметров (ρ, η, ζ и δ), называемых параметрами Мишеля, которые описывают структуру заряженного слабого взаимодействия (в Стандартной Модели $\rho=0,75, \eta=0, \zeta=1, \delta=0,75$). В анализе данных, набранных детектором Belle в области $Y(4S)$, используются события реакции $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$, в которых сигнальный тау-лептон распадается в лептонную моду, а второй тау-лептон распадается в хорошо изученную адронную моду с двумя пионами ($\tau^\pm \rightarrow l^\pm \nu_l \nu$; $\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \nu$) (или, кратко, ($l^\pm \nu_l \nu$; $\rho^\pm \nu$)). Параметры Мишеля определяются из аппроксимации дифференциального сечения рождения ($l^\pm \nu_l \nu$; $\rho^\pm \nu$) в полном девятимерном фазовом пространстве реакции. В 2017 году проводилось детальное изучение эффективности триггера и поиск оптимальных условий триггера для прецизионного измерения параметров Мишеля. Было выяснено, что оптимальным является использование триггера на основе информации только с электромагнитного калориметра детектора. Эффективность такого триггера зависит только от двух переменных – полного энерговыделения и числа т.н. изолированных кластеров в калориметре. Эффективность этого триггера может быть определена с высокой точностью с помощью экспериментальных событий, в которых сработали другие физически независимые подсистемы детектора: дрейфовая камера и система регистрации K_L и мюонов, см. Рис. 1.7.3. Продолжается анализ систематических погрешностей измерения параметров Мишеля.

Завершён анализ радиационных лептонных распадов тау $\tau \rightarrow l \text{ anti-} \nu_l \nu_\tau$ ($l = e, \mu$) на статистике, набранной детектором Belle в области $Y(4S)$ -резонанса (653 миллиона тау-лептонных пар). Впервые в распадах тау-лептона измерены параметры Мишеля η' и ζ_κ , $\eta' = -1,3 \pm 1,5 \pm 0,8$ и $\zeta_\kappa = 0,5 \pm 0,4 \pm 0,2$ (первая ошибка – статистическая, а вторая – систематическая), они согласуются с ожидаемыми в Стандартной Модели значениями ($\eta' = 0$ и $\zeta_\kappa = 0$). На Рис. 1.7.4 показаны контуры функции правдоподобия на плоскости (η', ζ_κ) для событий $\tau \rightarrow \mu^+ \text{ anti-} \nu_\mu \nu_\tau$.

Также были измерены относительные вероятности этих распадов:

$$B(\tau \rightarrow e^+ \text{ anti-} \nu_e \nu_\tau)_{E_\gamma > 10 \text{ MeV}} = (1,79 \pm 0,02 \pm 0,10) \times 10^{-2},$$

$$B(\tau \rightarrow \mu^+ \text{ anti-} \nu_\mu \nu_\tau)_{E_\gamma > 10 \text{ MeV}} = (3,63 \pm 0,02 \pm 0,15) \times 10^{-3},$$

где первая ошибка – статистическая, а вторая – систематическая. Хотя обе величины согласуются с предсказанием Стандартной Модели, в работе отмечено заметное влияние следующего за лидирующим вклада в относительную вероятность распада $\tau \rightarrow e^+ \text{ anti-} \nu_e \nu_\tau$, см. Рис. 1.7.4. На достигнутом уровне точности уже необходимо учитывать в генераторе радиационного лептонного распада следующий за лидирующим вклад в его дифференциальную ширину, а также фон от дважды радиационных распадов.

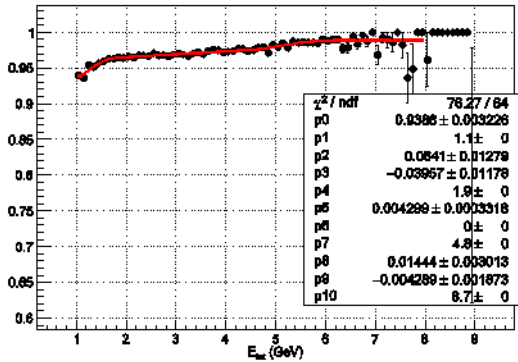
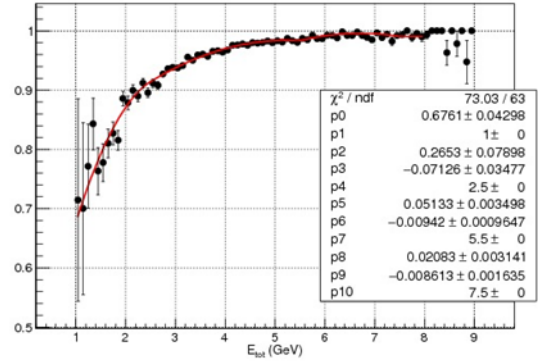


Рис. 1.7.3. Эффективность триггера в зависимости от полного энерговыделения в калориметре (E_{tot}) для событий $(e^+ \nu; \rho \nu)$ (сверху) и $(\mu^+ \nu; \rho \nu)$ (снизу) с числом изолированных кластеров $N_{icl}=4$. Красная кривая – результат аппроксимации зависимости.

Изучение распадов $B \rightarrow D^{**} \pi \rightarrow D \pi \pi$

D^{**} -мезоны – это общее обозначение орбитальных возбуждений системы, содержащей очарованный кварк и легкий антикварк. Такая система является уникальной, так как позволяет проводить теоретическую проверку предсказаний таких моделей сильных взаимодействий как эффективная теория тяжелых кварков (HQET) и правила сумм квантовой хромодинамики (QCD sum rules). Мода распада $D^{**} \rightarrow D \pi \pi$ интересна тем, что ее относительная вероятность изме-

рена с недостаточной точностью с использованием набора данных детектора Belle, соответствующего 152 миллионам пар В и анти-В мезонов. На данный момент доступная статистика эксперимента Belle составляет 772 миллиона пар, что позволяет значительно улучшить точность измерений. Кроме того, амплитудный анализ такого объема данных дает возможность изучить, через какие промежуточные состояния проходит данный распад. На данный момент закончено моделирование, на основе которого определены оптимальные критерии отбора сигнальных событий. Разработан алгоритм, позволяющий эффективно обработать весь набор данных детектора Belle и выделить интересующие события. После применения полученного алгоритма к данным было построено распределение по инвариантной массе $D^0\pi^+\pi^-$, демонстрирующее пик от D^{**} -мезона (см. Рис. 1.7.5).

предсказания: в лидирующем порядке (LO), в следующем за лидирующим порядке (excl), в следующем за лидирующим порядке с учётом двойного радиационного распада (incl).

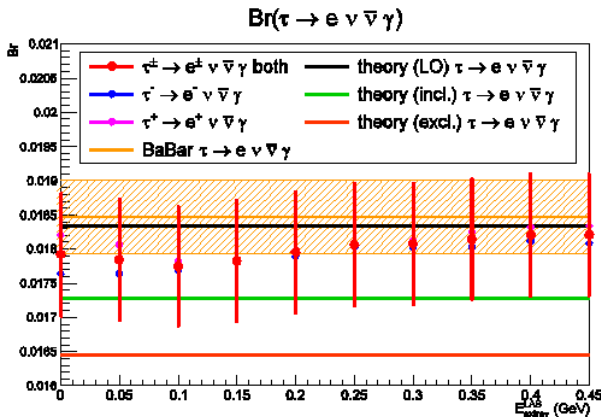
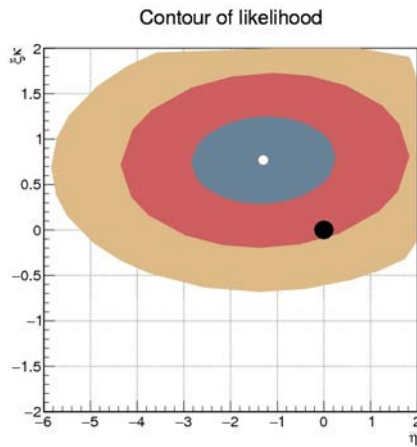


Рис. 1.7.4. Сверху: контуры (соответствующие одному, двум и трём стандартным отклонениям) функции правдоподобия на плоскости (η', ξ_k) для событий $\tau \rightarrow \mu \text{ anti-}\nu_\mu \nu_\tau \gamma$, чёрным кругом отмечено предсказание Стандартной Модели (0,0). Снизу: зависимость относительной вероятности распада $B(\tau \rightarrow e \text{ anti-}\nu_e \nu_\tau \gamma)$ от суммарной энергии дополнительных фотонов в событии. Показаны зависимости для двух зарядовых мод и для среднего. Отмечен результат предыдущего измерения в эксперименте BaBar, а также теоретические

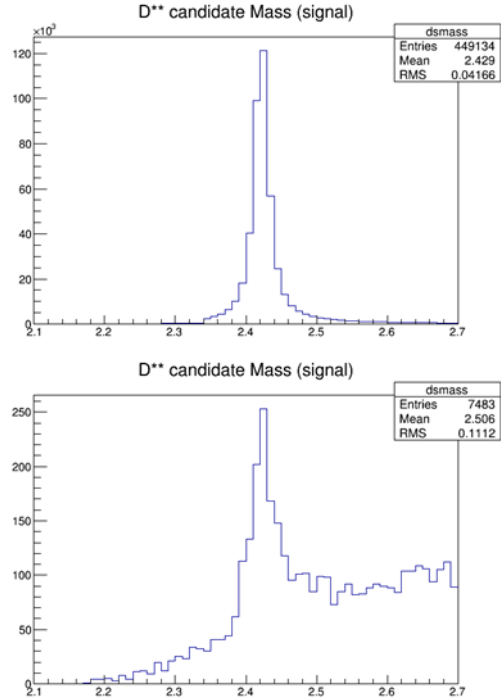


Рис. 1.7.5. Распределение по инвариантной массе $D^0\pi^+\pi^-$ для событий сигнального моделирования (сверху) и данных (снизу).

1.7.3. Модернизация детектора.

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

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

В калориметре предполагается замена электроники на новую, которая обеспечит непрерывную оцифровку сигналов со счетчиков и последующую подгонку данных откликом известной формы. Такая процедура даст возможность определять как энергию, так и время прихода сигнала. Использование временной информации позволит в несколько раз подавить частоту возникновения ложных кластеров.

Схема электроники калориметра показана на Рис. 1.7.6. Сигнал с преусилителя поступает на модуль формирователей-оцифровщиков, где он формируется и непрерывно оцифровывается. В момент прихода триггерного сигнала происходит фитирование оцифрованных данных сигналом известной формы с определением амплитуды и времени сигнала. Последняя информация считывается модулем коллектора и передается в систему сбора данных (ССД) детектора. Модуль формирователей-оцифровщиков принимает сигналы с 16-ти счетчиков. Кроме того, формирователь-оцифровщик вырабатывает быстрый сигнал суммы 16-ти каналов с коротким временем формирования, который используется как входной сигнал нейтрального триггера. Калориметрическая электроника включает 52 9U VME крейта, в каждом из которых расположено 8-12 модулей формирователей-оцифровщиков, модуль коллектора и триггерный модуль (FAM).

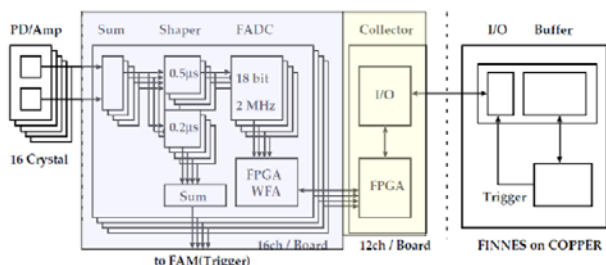


Рис. 1.7.6. Схема электроники калориметра Belle II.

В январе 2017 года задний торцевой калориметр был установлен на детектор Belle II. Была проведена калибровка формы сигналов с каждого счетчика. Из этой калибровки получены массивы коэффициентов, используемые в модулях электроники калориметра для определения времени и амплитуды сигнала. В период с февраля по апрель была разработана процедура калибровки и проведена калибровка амплитуды и задержки временных сигналов счетчиков. Распределение по значениям калибровочных коэффициентов для цилиндрической части и заднего торцевого калориметра показаны на Рис. 1.7.7(а). На Рис. 1.7.7(в) показано, как калибровка временных сдвигов улучшает временное разрешение по разнице времен срабатывания счётчиков для космических событий.

Летом 2017 года цилиндрический и задний торцевой калориметры были интегрированы в ССД детек-

тора, куда были также включены дрейфовая камера, система идентификации TOP и пробегная система KLM. Информация с перечисленных систем записывалась в глобальном космическом захвате детектора Belle II. Обработка записанных данных показала, что данные, считанные с калориметра, позволяют корректно восстановить энерговыделения в счётчиках и времена прихода сигналов в каждом событии, и нет потерянных данных. Были проведены исследования согласованности информации с дрейфовой камеры и калориметра, как показано на Рис. 1.7.8.

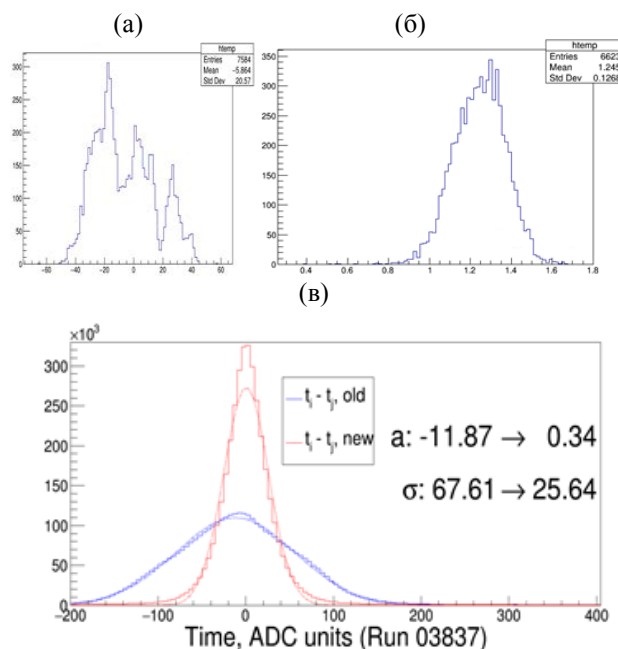
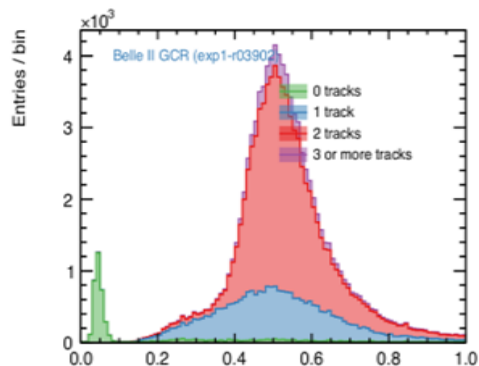


Рис. 1.7.7. (а) Калибровочные коэффициенты для цилиндрического и заднего торцевого калориметров, (б) величины временных сдвигов, (в) распределение по разнице времен в счётчиках до и после использования временных сдвигов.



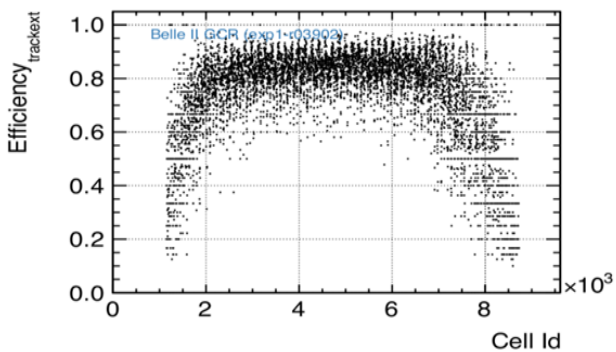


Рис. 1.7.8. Распределение по энергии в калориметре (сверху), эффективность регистрации треков в калориметре (снизу).

Летом и осенью 2017 года проводились специальные исследования стабильности работы ССД калориметра при высоких нагрузках первичного триггера. Было показано, что ССД калориметра обеспечивает стабильную работу в течение нескольких десятков часов при загрузке триггера до 35 кГц и объеме данных, соответствующему ожидаемому размеру событий с калориметра.

Осенью 2017 года в детектор Belle II был установлен передний торцевой калориметр и набраны данные для калибровки счетчиков этого калориметра. После установки заднего и переднего торцевых калориметров было обнаружено несколько каналов с повышенными шумами. В сентябре 2017 года проводился ремонт каналов. Все каналы были отремонтированы.

В течение 2017 года продолжалась разработка и усовершенствование проектов ПЛИС и программного обеспечения калориметра Belle II. В проект были внесены усовершенствования, позволяющие проводить существенно более быстро загрузку проектов плат усилителей-формирователей через оптический канал. Кроме того, добавлена возможность чтения регистров в момент набора данных. Также были написаны программы для обеспечения новых возможностей. Исследовались сбои в ССД калориметра и обнаружены причины их появления. Были найдены решения, позволяющие избавиться от таких сбоев. Совместно с командой ССД детектора Belle II была разработана система загрузки и инициализации калориметра через графический интерфейс центрального компьютера. Добавлена опция калибровки электроники через центральный компьютер.

Важной задачей торцевого калориметра детектора Belle II является оперативное измерение светимости КЕКВ по событиям упругого рассеяния. Поскольку светимость должна измеряться непрерывно вне зависимости от работы ССД детектора, для измерения светимости разработан отдельный электронный модуль. В конце 2016 года модуль был изготовлен (Рис. 1.7.9), и в 2017 году проводились разработка проекта

для ПЛИС и написание программного обеспечения для работы с ним.



Рис. 1.7.9. Внешний вид модуля измерения светимости.

Используя подготовленный проект и программы считывания данных, были проверены все входы модуля на калибровочных сигналах и измерены уровни шумов. Приготовлен проект считывания данных с АЦП и передача их в компьютер. Ведется разработка алгоритмов вычисления светимости и моделирование точности и надежности этих алгоритмов.

2

ЭЛЕКТРО- И ФОТОЯДЕРНАЯ
ФИЗИКА

2. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ВНУТРЕННИМИ МИШЕНЯМИ

Продолжался анализ данных эксперимента 2013 года по когерентному фоторождению нейтрального пиона на дейтроне. В эксперименте для регистрации дейтрона использовались 2 плеча, развернутых по углу вылета дейтрона θ_d . В 2017 году предварительные результаты для первого углового диапазона ($\theta_d \approx 25^\circ$, $\theta_\pi = 95^\circ$ - 145°) были опубликованы, и завершена обработка данных второго углового диапазона ($\theta_d \approx 70^\circ$, $\theta_\pi = 50^\circ$ - 90°). На рис. 2.1 показана часть полученных данных по тензорной анализирующей способности T_{20} исследуемой реакции для двух угловых диапазонов. Сравнение с расчетами в рамках нескольких теоретических моделей показывает, что теории хорошо описывают поведение тензорной асимметрии в широком диапазоне углов пиона и энергий фотона, однако при больших углах и энергиях наблюдается заметное расхождение.

Подготовка итоговой публикации, включающей результаты анализа всего объема накопленных данных, близится к завершению. В 2018 году статья будет направлена в печать.

Эксперимент по измерению тензорной анализирующей способности T_{20} реакции двухчастичной фотодезинтеграции дейтрона в неисследованной ранее области энергий фотона 0,4 – 1,5 ГэВ будет проведен на накопителе электронов/позитронов ВЭПП-3. Эксперимент планируется провести в три этапа с энергиями пучка электронов 0,8, 1,2 и 2,0 ГэВ. При проведении эксперимента будет использована следующая аппаратура: модернизированная тензорно-поляризованная газовая внутренняя дейтериевая мишень, недавно созданная система мечения квазиреальных фотонов, а также двухплечевой детектор частиц. Детектор частиц будет регистрировать протон-нейтронную пару от развала дейтрона на совпадениях, и, кроме того, процесс упругого (ed)-рассеяния при малых переданных импульсах для контроля поляризации мишени. На первом этапе в детекторе частиц, кроме некоторых старых элементов, будут использованы новые дрейфовые камеры а также строящийся адронный калориметр-сэндвич. Отметим, что работы по его сооружению подходят к концу.

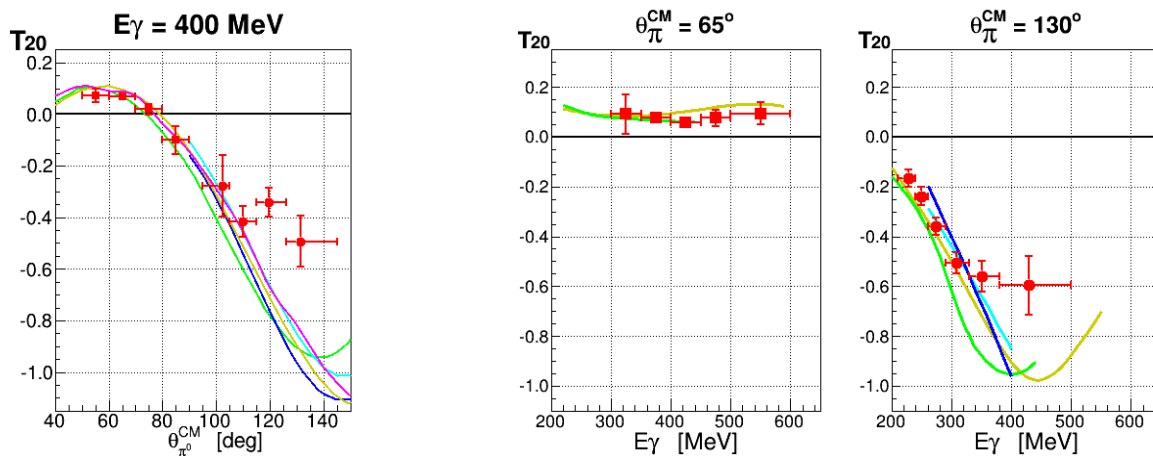


Рис. 2.1. Некоторые результаты для тензорной анализирующей способности T_{20} реакции $\gamma + d \rightarrow \pi^0 + d$ для двух угловых диапазонов. Слева – как функция от угла вылета пиона при фиксированной энергии фотона. Справа – в зависимости от энергии фотона для двух фиксированных углов вылета пиона. Кривые – расчеты в рамках нескольких теоретических моделей.

2.1. Разработка и изготовление электроники регистрации для дрейфовых камер и адронного калориметра эксперимента по фотодезинтеграции дейтрона.

В качестве базы для электроники системы регистрации для дрейфовых камер и адронного калориметра для эксперимента на ВЭПП-3 были выбраны разработки электронной группы детектора КМД-3 (ВЭПП-2000).

Для обработки сигналов с кремниевых фотоумножителей (КФУ) адронного калориметра был выбран тракт время-пролетных счетчиков детектора КМД-3, включающий «FILIP» – программируемый модуль усилителей/источников питания КФУ и «T2Q» – блок оцифровки сигналов, измеряющий время, заряд и частоту срабатывания 16-ти КФУ. Опрос/конфигурация таких модулей производится с использованием последовательного канала «C-link», разработанного группой КМД, поэтому для сопряжения со стандартной аппаратурой детектора

Дейтрон был применен еще один блок – КАМАК модуль частот и синхронизации. Такой комплект модулей был сначала испытан на стенде, где несколько сцинтилляционных стрипов, оснащенных КФУ, изучались с использованием космических частиц. Затем эти модули использовались в тестовом сеансе на ВЭПП-3, где был испытан прототип одного из плеч адронного калориметра, в котором были установлены 6 (из 44) КФУ, регистрирующие сигналы с 60-ти сцинтилляционных стрипов. В целом, испытания показали, что такая конфигурация электроники может быть положена в основу системы регистрации для адронного калориметра, однако были обнаружены ряд недостатков и намечены меры их устранения. Для обеспечения обработки сигналов со всего калориметра (88 КФУ) необходимы 4 комплекта модулей («FILIP» + «T2Q»). Их изготовление запланировано на 2018год.

Для электроники регистрации сигналов с дрейфовых камер решено использовать 16-канальные модули Время-Цифровых Преобразователей (ВЦП) так же с интерфейсом «С-link». Однако это должна

быть новая разработка, т. к. подходящего аналога на КМД-3 нет. Была проработана подробная спецификация на новые ВЦП, разработан и изготовлен 4-х канальный прототип. Работы с прототипом продолжаются и должны быть завершены в 2018году. Но в 2017году для включения дрейфовых камер в тестовом сеансе на ВЭПП-3 были применены электронные блоки, использовавшиеся в трековой системе предыдущих экспериментов на детекторе Дейтрон – модули КАМАК-ВЦП и блоки Линий Задержки (ЛЗ). Для работы с новыми камерами блоки ЛЗ были модифицированы – дополнены узлом дискриминаторов-формирователей. Таким образом удалось обеспечить 140 каналов регистрации – треть от полного числа сигнальных проволок. Это позволило в тестовом сеансе включить одно плечо новых дрейфовых камер, чтобы изучить их работу в реальных условиях эксперимента на ВЭПП-3 и определять угол и координату вершины вылета протонов и дейтронов из мишени.

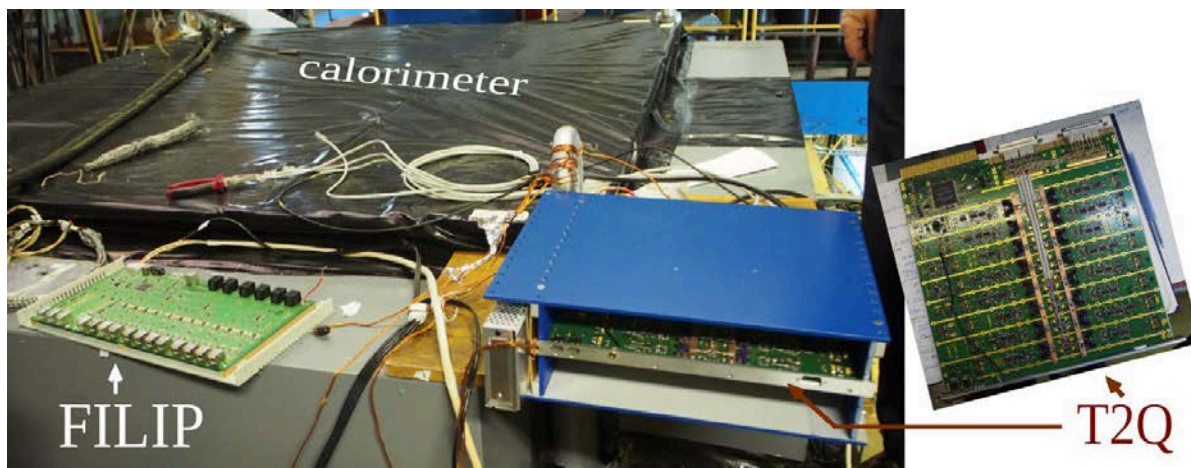


Рис. 2.2. Новая электроника адронного калориметра – модули «FILIP» и «T2Q», размещенные рядом с прототипом плеча калориметра, установленного на ВЭПП-3 во время тестового сеанса.

2.2. Разработка программного обеспечения сбора и обработки данных эксперимента.

Особенность системы сбора данных с детекторов в эксперименте по фотодезинтеграции дейтрона на ВЭПП-3 состоит в том, что в ней используется три существенно разнородные подсистемы, работающие параллельно:

1. данные трековой системы плеча Меченных Фотонов передаются в компоновщик события езернет-пакетами параллельно от каждого из трех Газовых Электронных Умножителей;
2. информация с адронного калориметра поступает в компоновщик события параллельно от каждого из модулей оцифровщиков через последовательный канал «С-link»;

3. КАМАК модули, используемые для обработки данных с остальных каналов детектора, опрашиваются КАМАК-контроллерами на базе транспьютеров и отправляются в компоновщик события по транспьютерным линкам.

Работа каждой подсистемы была проверена и отлажена на стендах. Был разработан пакет программ с графическим интерфейсом для тестирования на стенде отдельных элементов детектора (дрейфовых камер, сцинтилляторов адронного калориметра и протонного плеча) с использованием космических частиц и генератора калибровочных сигналов.

Для совместной работы подсистем сбора данных был разработан программный модуль синхронизатора и компоновщика событий, реализованный на персональном компьютере с операционной системой

Линукс. Этот модуль был запущен и отлажен в тестовом сеансе на накопителе ВЭПП-3. Особо важной задачей в такой разнородной системе является обеспечение синхронизации данных – так, чтобы информация с подсистем относилась к одному и тому же событию. Действительно, на первом этапе тестирования системы регистрации на ВЭПП-3 были обнаружены сбои, приводящие к рас-синхронизации информации с подсистем. Поэтому были найдены и реализованы эффективные методы их быстрого обнаружения и устранения on-line. Таким образом, программное обеспечение сбора данных с детектора Дейтрон было успешно проверено в условиях реального эксперимента на ВЭПП-3 и готово к использованию.

Данные с детектора, полученные в тестовом заходе на ВЭПП-3 в октябре-2017, позволили начать разработку и отладку программ *off-line* анализа. Были созданы и отлажены первые версии программ трекинга для новых дрейфовых камер; обработки амплитудной и временной информации сцинтилляционных детекторов протонного плеча; анализа данных с адронного калориметра, поступающих с нового для детектора Дейтрон оцифровщика «Т2Q»; трекинга для системы Меченных Фотонов, где теперь используются 3 двух-координатных Газовых Электронных Умножителя. Работы по разработке и отладке программ *off-line* анализа продолжаются.

2.3. Работы по проекту РНФ 16-42-01009 «К молекулярному источнику поляризованного дейтериевого топлива для исследований ядерного синтеза и других применений».

Целью проекта является получение поляризованного молекулярного водородного и дейтериевого пучка. У водорода, так и у дейтерия, существуют два спиновых изомера: орто-состояние, когда спины ядер в молекуле имеют параллельную (одного знака) ориентацию, и пара-состояние, когда направления спинов ядер молекулы противоположны. Молекулы пучка, имеющие различные магнитные моменты, могут быть пространственно разделены в неоднородном магнитном поле. Для получения молекул с определенной проекцией спинового момента были использованы секступольные сверхпроводящие магниты источника поляризованных атомов. При работе с водородом, для улучшения откачки газа, температура жидкого гелия понижалась до 2,5 К путем снижения давления паров над жидкостью. Кольцевое сопло имеет наружный и внутренний диаметры равные 41,6 и 41,4 мм (ширина сопла 0,1 мм). С помощью нагревателя температуру сопла можно изменять в широких пределах, начиная от температуры жидкого гелия. Расстояние от сопла до входа в фокусирующие магниты - 33 см. На линейке же установлен диск диаметром 40 мм, который на входе в

магнит образует кольцевую диафрагму с внешним диаметром 42 мм и шириной 1 мм. При таком расположении элементов установки молекулы, влетающие в магнит, движутся вблизи полюсов, где градиент поля и, следовательно, отклоняющая их сила, максимальны.

На расстоянии 157 см от конца магнитов, по оси установки размещена приемная трубка для молекул диаметром 30 мм и длиной 20 см. Если считать, что молекулы, испущенные из сопла, при соударении с внутренней поверхностью апертуры магнита откачиваются с вероятностью, равной единице, то в приемную трубку, выставленную по оси пучка, не должны попадать молекулы при выключенном магнитном поле. При включении магнитного поля молекулы с отрицательным магнитным моментом отклоняются к оси и, попадая в трубку, повышают в ней давление.

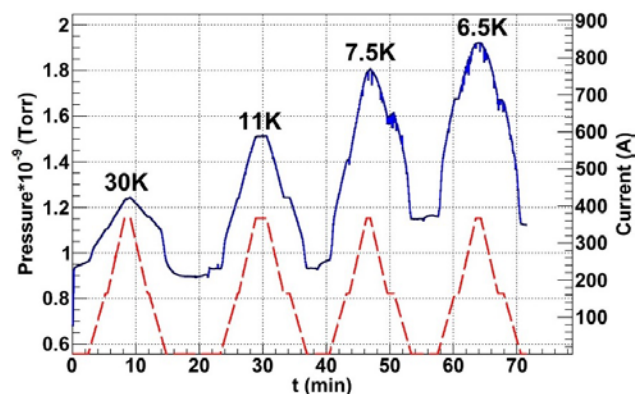


Рис. 2.3. Динамика давления водорода в приемной трубке (сплошная линия) и тока обмотки отклоняющих магнитов (пунктирная кривая) при постоянном расходе газа через сопло. Измерения выполнены для разных температур сопла.

При данном расходе газа через сопло были проведены измерения интенсивности сфокусированного пучка в зависимости от температуры сопла, Рис.2.3. Максимальная интенсивность пучка составляла 3×10^{12} мол/сек при расходе газа через сопло 4×10^{-2} Торр*л/сек и при дальнейшем увеличении расхода начинала падать. Можно перечислить несколько причин, приводящих к уменьшению интенсивности. Это может быть рассеяние молекул пучка на остаточном газе, конденсация молекул в кластеры (у которых отсутствует магнитный момент) при повышении давления, изменение направленности углового распределения молекул из сопла. Отношение потока сфокусированного пучка к полному потоку газа из сопла составило величину $(3,5-1,2) \times 10^{-6}$ в зависимости от величины полного потока. С увеличением расхода газа это отношение уменьшается. Расчеты этой величины методом Монте-Карло-моделирования, в случае распределения интенсивности из сопла по закону косинуса и без учета

ослабления интенсивности, дают величину $2,1 \times 10^{-6}$. Это находится в разумном согласии с экспериментальными результатами.

Интенсивность сфокусированного пучка молекул дейтерия примерно в 7 раз меньше интенсивности водородного. Это связано с тем, что магнитные

моменты молекулы дейтерия существенно меньше, чем магнитные моменты молекулы водорода, а также с тем, что геометрия установки не была оптимизирована для работы с дейтерием.



Рис. 2. 4. Установка для получения поляризованных молекул водорода.

3

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ
ФИЗИКА

3.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

«Следующие за главными, поправки к ёмкости не диссипативного нелинейного оптического волоконного канала в промежуточной области мощности»

А.А. Панарин, А.В. Резниченко, И.С. Терехов
Physical Review E, Vol. 95, Iss. 1, p. 012127 (2017)

В работе мы рассматриваем нелинейный оптоволоконный канал связи, распространение сигнала в котором описывается нелинейным уравнением Шредингера с аддитивным гауссовским шумом.

Используя представление для функции плотности условной вероятности в виде континуального интеграла, мы вычислили функцию плотности условной вероятности, плотность вероятности выходящего сигнала, энтропию выходящего сигнала, условную энтропию и емкость канала связи в следующем за лидирующим порядке по параметру отношения мощность сигнала к мощности шума. Мы показали, что найденные нами поправки к емкости канала связи положительны в промежуточной области мощности сигнала, поэтому они увеличивают емкость канала, полученную ранее.

«Log-log рост емкости бездисперсионного оптического канала связи в промежуточной области мощностей»

И.С. Терехов, А.В. Резниченко, Я.А. Харьков, С.К. Турицын
Physical Review E, Том 95, Вып. 6, стр. 062133 (2017)

В работе мы рассматриваем нелинейный бездисперсионный оптоволоконный канал связи с аддитивным гауссовским шумом. Используя представление для функции плотности условной вероятности в виде континуального интеграла, мы нашли оптимальную функцию распределения начального сигнала, максимизирующую взаимную информацию для данного канала связи в случае большого отношения мощности сигнала к мощности шума. Мы также вычислили энтропию выходящего сигнала, условную энтропию и взаимную информацию для гауссовского, полу-гауссовского и модифицированного гауссовского распределения начального сигнала. Ранее считалось, что полу-гауссовская функция распределения начального сигнала является оптимальной, однако мы показали, что в промежуточной области мощности начального сигнала найденная нами и емкость больше взаимной информации, вычисленной по полу-гауссовской функции распределения начального сигнала. Мы также показали, что в промежуточной области мощности P сигнала емкость растет как $\text{Log Log } P$.

«Вычисление в формализме интегралов по путям взаимной информации для нелинейного оптического канала связи при большом отношении мощности сигнала к мощности шума»

И.С. Терехов, А.В. Резниченко, С.К. Турицын
Journal of Physics Conference Series, Том: 826, стр. 012026 (2017)

Используя метод интеграла по траекториям, мы вычислили взаимную информацию для оптоволоконного канала связи, описываемого нелинейным уравнением Шредингера с аддитивным гауссовским шумом. В приближении большого отношения SNR (отношение мощности сигнала к мощности шума) мы представляем взаимную информацию в виде континуального интеграла, который может быть вычислен, используя теорию возмущений по параметру нелинейности. В лидирующем порядке по параметру $1/\text{SNR}$ мы показали, что взаимная информация выражается через среднее от логарифма нормировки Λ функции плотности условной вероятности. В первом неисчезающем порядке по параметру $1/\text{SNR}$ и нелинейности, мы вычислили аналитически поправку к взаимной информации для данного канала связи. Для произвольной нелинейности мы нашли ограничение на взаимную информацию, пользуясь неравенством Йенсена, и провели анализ ограничения для случая большой дисперсии.

«Емкость канала и простейшие корреляторы для нелинейного канала связи при большом отношении мощности сигнала к мощности шума и малой дисперсии»

И.С. Терехов, А.В. Резниченко
Тезисы конференции IEEE ITW'17
(Тайвань, 4-10 ноября 2017)

Мы рассматриваем оптоволоконный канал, описываемый нелинейным уравнением Шредингера с гауссовским шумом. Используя фейнмановский подход функционального интегрирования для данной модели в случае большого отношения мощности сигнала к мощности шума и малой дисперсии, мы нашли поправки к функционалу плотности условной вероятности $P[Y|X]$ и получили оценки для первой неисчезающей поправки к емкости канала. На основе предположения о факторизации функционала условной вероятности мы показали, что поправка к емкости канала по малому безразмерному дисперсионному параметру квадратична и положительна в промежуточной области мощностей. Тем самым, данная поправка увеличивает емкость бездисперсионного канала в этой области мощностей. Для иллюстрации общности нашего подхода мы также получили аналитические выражения для различных корреляторов выходящего сигнала в канале с малой дисперсией.

«Емкость канала связи при большом SNR и малой дисперсии в рамках подхода интегрирования по путям»

И.С. Терехов, А.В. Резниченко
Тезисы конференции LPHYS-17

Мы рассматриваем оптоволоконный канал связи, моделируемый нелинейным уравнением Шредингера. Используя фейнмановскую технику интегралов по путям для данной модели с малой дисперсией, мы нашли первые ненулевые поправки к функционалу плотности условной вероятности, оценки для поправок по малой дисперсии к оптимальной функции распределения и емкости канала. Мы показали, что поправки к емкости положительны и квадратичны по параметру малой дисперсии.

Представлены явные выражения для данных поправок. Также в случае малой дисперсии мы развили подход вычисления различных корреляторов выходного сигнала и продемонстрировали данный подход на простейших примерах.

3.2. СИЛЬНЫЕ ИЗАИМОДЕЙСТВИЯ

«Слабо нарушенная $\mathcal{N}=2$ SQCD: спектры масс в вакуумах с ненарушенной $Z_{2N_c-N_F}$ симметрией»

В.Л. Черняк
arXiv:1711.01169, стр.1-80

Рассмотрены $\mathcal{N}=2$ суперсимметричные КХД теории (SQCD) с калибровочными группами $SU(N_c)$ или $U(N_c)$ и с $N_F < 2N_c - 1$ ароматами кварков равных масс m . $\mathcal{N}=2$ суперсимметрия слабо нарушена до $\mathcal{N}=1$ массами $\mu_\chi \text{Tr}(X^2)$ цветных скалярных суперпартнеров глюонов X_{adj} в присоединенном представлении $SU(N_c)$, $\mu_\chi \ll \Lambda_2$ (Λ_2 – масштабный фактор калибровочной константы связи). В этих теориях имеется большое количество вакуумных состояний различного типа с ненарушенной или спонтанно нарушенной глобальной симметрией ароматов, $U(N_F) \rightarrow U(n_1) \times U(n_2)$. В этой статье рассмотрена большая часть этих вакуумов с ненарушенной нетривиальной дискретной симметрией $Z_{2N_c-N_F}$, при различных иерархиях между параметрами Лагранжиана, m , Λ_2 и μ_χ . В главном тексте представлены формы низкоэнергетических Лагранжианов, квантовые числа легких частиц и спектры масс во всех этих вакуумах. Подчеркнуто существование фазовых переходов в этих суперсимметричных КХД теориях при соответствующих значениях параметров

суперпотенциала. В двух важных Приложениях представлены расчеты степенных поправок к низкоэнергетическим конденсатам кварков, магнитных монополей и дионов в различных вакуумах. Эти расчеты, использующие найденные корни спектральной кривой Seiberg-Witten, дают независимое и нетривиальное подтверждение самосогласованности всего подхода. Наши результаты существенно отличаются от соответствующих результатов, полученных в недавних работах arXiv:1304.0822, arXiv:1403.6086 и arXiv:1704.06201 М. Шифмана и А. Юнга (и в ряде их многочисленных предыдущих работ на эту тему), и мы объясняем в тексте причины этих различий. В частности, показано, что предложенная этими авторами "instead of confinement phase", не реализуется в действительности ни в одном из вакуумов. (См. также расширенную критику ряда результатов этих авторов в разделе 8 нашей предыдущей работы arXiv:1308.5863).

«Особенности в NNLLA BFKL»

В.С. Фадин
AIP Conference Proceedings (2017) no.1

Проведен анализ специфических свойств подхода БФКЛ в следующем за следующим за главным логарифмическом приближении. В этом приближении схема вывода уравнения БФКЛ должна быть изменена из-за нарушения простой факторизованной формы амплитуд с мультiredжевским обменом и необходимостью учитывать мнимые части амплитуд в соотношениях унитарности.

«Нарушение простой факторизованной формы амплитуд КХД и разрезы Редже»

В.С. Фадин
Proceeding of Science (2017)
<https://pos.sissa.it/297/042/pdf>

Известно, что факторизованная форма амплитуд КХД с глюонными квантовыми числами в кросс-канале и отрицательной сигнатурой нарушается для рассеяния партонов высокой энергии в следующем за следующим логарифмическом приближении (ССГЛП). Это нарушение объясняется вкладами трехреджеонных разрезов. Найдены вклады разрезов в амплитуды упругого рассеяния партонов и проанализированы связанные с ними изменения в схему вывода уравнения БФКЛ в ССГЛП.

«Реджеонные разрезы в амплитудах КХД с отрицательной сигнатурой»

В.С. Фадин и Л.Н. Липатов
BUDKER-INP-2017-15; arXiv:1712.09805

Обсуждаются реджеонные разрезы в амплитудах КХД с отрицательной сигнатурой. Эти разрезы появляются в следующем за следующим за главным

логарифмическом приближении (NNLLA) и значительно усложняют вывод уравнения BFKL. Указаны диаграммы Фейнмана, ответственные за появление этих разрезов, и вычислены вклады разрезов двух- и трех-петлевого приближении.

3.3. ГРАВИТАЦИЯ

«Дискретная гравитация Фаддеева первого порядка при сильно меняющихся полях»

В.М. Хацимовский

Mod. Phys. Lett. A, v.32, No. 35, p. 1750181, 2017

arXiv:1708.02035[gr-qc]

Мы рассматриваем формулировку Фаддеева общей теории относительности (ОТО), которая может быть охарактеризована подобием d -мерной тетрады (типично $d=10$) и неримановой связностью. Эта теория инвариантна относительно глобальных, но не локальных вращений в d -мерном пространстве. Могут быть конфигурации с гладкой или плоской метрикой, но с тетрадой, которая резко меняется на малых расстояниях, своего рода "антиферромагнитная" структура. Ранее мы обсуждали представление первого порядка для гравитации Фаддеева, которое использует ортогональную связность в d -мерном пространстве как независимую переменную. Используя дискретную форму этой формулировки, мы рассмотрели спектр (элементарной) области. Этот спектр оказывается физически разумным как раз на классическом фоне с большой связностью, такой как вращения на π , т. е. с такой "антиферромагнитной" структурой. В дискретной гравитации Фаддеева первого порядка мы рассматриваем такую структуру с периодическими ячейками и большой связностью и сильно меняющимся тетрадным полем внутри ячейки. Мы показываем, что эта система в континуальном пределе сводится к обобщению системы Фаддеева. Действие представляет собой сумму связанных действий типа Фаддеева и все еще сводится к действию ОТО.

«Симплициальное действие Палатини»

В.М. Хацимовский

arXiv:1705.06654[gr-qc], pp. 1-19, 2017;

Мы рассматриваем кусочно-плоское пространство-время и симплициальный аналог формы Палатини действия общей теории относительности (ОТО), где дискретные символы Кристоффеля заданы на тетраэдрах как переменные, не зависящие от метрики. Исключение этих переменных классически дает точно действие Редже. Эта статья продолжает нашу предыдущую работу. Теперь мы включаем член нарушения четности и аналог параметра Барберо-Иммиризи, рассматриваемый в форме ОТО в терминах ортогональной связности. Мы рассматриваем интеграл по путям и функциональное интегрирование по

связности. Результат последнего (для некоторых предельных случаев некоторых параметров) сравнивается с ранее найденным результатом функционального интегрирования по связности для аналогичного представления действия Редже в терминах ортогональной связности.

Эти результаты, главным образом, как некоторые меры по длинам/площадям, обсуждаются в аспекте возможности диаграммной техники, где пертурбативные диаграммы для действия Редже, вычисленные с использованием полученной меры, являются конечными. Эта конечность обусловлена этими мерами, которые обеспечивают элементарные длины, которые в основном ограничены и отделены от нуля, как раз, как и конечность теории на решётке с аналогичным распределением вероятностей шагов решётки.

3.4. КОСМОЛОГИЯ

«Реликтовая концентрация миллизаряженных частиц с массой около МэВ»

А.Д. Долгов, А.С. Руденко

ЖЭТФ 151, № 4, 663-669 (2017)

Вычислена реликтовая концентрация лёгких миллизаряженных частиц (МЗЧ) с электрическим зарядом $e' = 5 \cdot 10^{-5}e$ и массами, немного большими или меньшими массы электрона.

Эта концентрация зависит от отношения масс $\eta = m_X/m_e$, и для $\eta < 1$ она может быть настолько большой, что МЗЧ могут составлять всю космологическую тёмную материю или по крайней мере значительную её часть. С другой стороны, для $\eta \geq 1$ космологическая плотность энергии МЗЧ может быть довольно низкой, $\Omega_X h_0^2 \sim 0,02$ для скалярных МЗЧ, и $\Omega_X h_0^2 \sim 0,001$ для фермионов со спином $1/2$.

Но даже меньшее из значений $\Omega_X h_0^2$ противоречит некоторым существующим ограничениям на концентрацию и параметры МЗЧ.

Однако эти ограничения были получены при некоторых естественных или разумных предположениях о свойствах МЗЧ. Если ослабить эти предположения, то на диаграмме масса-заряд может появиться допустимая область, означающая, что МЗЧ могут быть частицами тёмной материи.

«Доменные стенки и домены материи-антиматерии в ранней Вселенной»

А.Д. Долгов, С.И. Годунов, А.С. Руденко

European Physical Journal (EPJ) Web of Conferences
158, 05001 (2017)

Предложен сценарий спонтанного (или динамического) нарушения C и CP симметрий, в соответствии с которым возможно образование доменов материи и антиматерии, разделённых космологически большими расстояниями. Такое нарушение $C(CP)$ существовало только в ранней

Вселенной, затем оно исчезло, и единственным следом, который оно оставило, являются образовавшиеся домены вещества и антивещества.

Такой сценарий свободен от проблемы доменных стенок. Согласно этому сценарию ширина доменной стенки должна экспоненциально возрастать, чтобы предотвратить аннигиляцию на границах домена. Существует классический результат, полученный Басу и Виленкиным, что ширина стенки стремится к одному из стационарных решений (постоянной физической ширине). Мы рассматривали толстые доменные стенки во вселенной де Ситтера, следуя статье Басу и Виленкина. Однако, нас интересовали не только найденные в ней стационарные решения, но мы также исследовали общий случай эволюции доменной стенки со временем. Когда параметр толщины стенки, δ_0 , меньше чем $H^{-1}/\sqrt{2}$, где H – параметр Хаббла в пространстве-времени де Ситтера, то стационарные решения существуют, а начальные конфигурации полей со временем стремятся к стационарным. Однако, для $\delta_0 \geq H^{-1}/\sqrt{2}$ нет стационарных решений. Мы численно вычислили скорость расширения стенки в этом случае и обнаружили, что ширина стенки растёт экспоненциально быстро для $\delta_0 \gg H^{-1}$. Также предложено объяснение, почему критическим значением является $\delta_{0c} = H^{-1}/\sqrt{2}$.

«Эволюция толстых доменных стенок в инфляционной и $p = w\rho$ вселенных»

А.Д. Долгов, С.И. Годунов, А.С. Руденко
e-Print: arXiv:1711.04704 [gr-qc]

Мы изучаем эволюцию толстых доменных стенок в инфляционной вселенной с квадратичным потенциалом инфлатона $m^2\phi^2$, а также в материально-доминированной и в радиационно-доминированной вселенной, или в более общем случае во вселенной с уравнением состояния $p = w\rho$. Мы обнаружили, что эволюция доменной стенки полностью определяется зависящим от времени параметром $C(t) = 1/(H(t)\delta_0)^2$, где $H(t)$ – параметр Хаббла и δ_0 – ширина стенки в плоском пространстве-времени. В случае $C(t) > 2$ физическая ширина стенки, $a(t)\delta(t)$, стремится с течением времени к постоянному значению δ_0 , которое является микроскопически малым. Напротив, когда $C(t) \leq 2$, стенка постоянно расширяется и может достигать космологически больших размеров.

3.5. КХД

«Распад $f_1(1285) \rightarrow e^+e^-$ и прямое рождение f_1 мезонов в e^+e^- столкновениях»

А.С. Руденко
Physical Review D 96 (2017) 076004

Ширина распада $f_1(1285) \rightarrow e^+e^-$ вычислена в модели векторной доминантности. Результат зависит от относительной фазы между двумя константами взаимодействия, описывающими распад $f_1 \rightarrow \rho^0\gamma$. Для

ширины $\Gamma(f_1 \rightarrow e^+e^-)$ получена оценка $\approx 0,07 \div 0,19$ эВ. Рассмотрено прямое рождение f_1 мезонов в e^+e^- столкновениях, и вычислено сечение $e^+e^- \rightarrow f_1 \rightarrow a_0 \pi \rightarrow \eta\pi\pi$. В реакции $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ изучена зарядовая асимметрия, возникающая из-за интерференции между $e^+e^- \rightarrow f_1$ и $e^+e^- \rightarrow \eta\rho_0$ амплитудами.

«Формфакторы тяжёлых кварков в пределе большого β_0 »

А.Г. Грозин
Eur. Phys. J. C 77 (2017) 453

Формфакторы тяжёлых кварков вычислены при $\beta_0\alpha_s \sim 1$ во всех порядках по α_s и в первом порядке по $1/\beta_0$. Используя соотношение инверсии, обобщённое на вершинные функции, мы сводим массивный фейнмановский интеграл на массовой поверхности к интегралу в эффективной теории тяжёлого кварка. Этот интеграл может быть выражен через a_2F_1 функцию; n -ый член её разложения по ϵ известен в явном виде. Мы подтвердили существующие результаты для $n_1^{L-1}\alpha_s^L$ членов в формфакторах (вплоть до $L=3$) и представили результаты для более высоких L .

«К анализу сшивки в смешивании V^0 - \bar{V}^0 в следующем за следующим ведущем порядке»

А. Г. Грозин, Томас Маннел и Алексей А.Пивоваров
Phys. Rev. D96 (2017) 074032

Мы вычисляем пертурбативные поправки к коэффициенту сшивки КХД с эффективной теорией тяжёлого кварка (HQET) для матричного элемента оператора с $\Delta B = 2$, определяющего разность масс в системе состояний V^0 - \bar{V}^0 . Для этого требуется выбрать операторный базис в HQET, отделяющий физические операторы от эванесцентных.

Мы получили аналитические результаты для некоторых из двухпетлевых поправок в порядке α_s^2 .

«О нарушении казимировского скейлинга в аномальной размерности каспа при малых углах»

А.Г. Грозин, Иоханнес Хен и
Максимилиан Станхофен
JHEP 10 (2017) 052 (13 p.)

Мы вычислили четырёхпетлевой n_f вклад пропорциональный четвертичному оператору Казимира в аномальную размерность каспа в КХД в виде разложения по малому углу ϕ . Этот вклад калибровочно инвариантен, нарушает казимировский скейлинг и впервые появляется в четырёх петлях. Он требует вычисления истинно непланарных четырёхпетлевых фейнмановских интегралов.

Мы представляем результаты вплоть до $\mathcal{O}(\phi^4)$.

Одной из мотивировок нашего вычисления была проверка недавнего предположения о структуре аномальной размерности каспа во всех порядках. В

качестве побочного продукта мы получили четырёхпетлевую аномальную размерность волновой функции HQET для этой цветовой структуры.

«Квантовая спектральная кривая модели ABJM и преобразование Меллина»

Р.Н. Ли, А.И. Онищенко
arXiv:1712.00412

Современные методы пертурбативного решения уравнений квантовой спектральной кривой в моделях $N=4$ СЯМ и ABJM ограничены случаями, когда квантовые числа состояния явно заданы как конкретные целые числа. В случае, если известен базис функций, в терминах которых выражается аналитический результат, этого достаточно для его восстановления. Для модели $N=4$ СЯМ известно, что и вклады асимптотического Бете-анзатца, и вклады конечного размера выражаются в терминах гармонических сумм. Однако, для модели ABJM только вклады первого типа выражаются через гармонические суммы. Более того, неизвестны необходимые обобщения гармонических сумм для этого случая. В настоящей работе мы используем преобразование Меллина для решения многопетлевого уравнения Бакстера, являющегося главным ингредиентом решения соответствующих спектральных задач. Мы приводим явные результаты для решения квантовой спектральной кривой в модели ABJM для операторов твиста 1 в секторе $sl(2)$ для произвольных значений спина порядка, соответствующего четырёхпетлевому приближению, с учётом поправки конечного размера. Показано, что результат для аномальных размерностей выражается через гармонические суммы, декорированные корнем четвёртой степени из единицы, и что выполняется принцип максимальной трансцендентности.

«DREAM: пакет для вычисления с произвольной точностью решений размерностных рекуррентных соотношений и его приложения»

Р.Н. Ли, К.Т. Мингулов
arXiv:1712.05173

Мы представляем пакет DREAM для системы компьютерной алгебры Mathematica, предназначенный для вычисления с произвольной высокой точностью многопетлевых интегралов, представленных с помощью метода DRA (Dimensional Recurrence & Analyticity) в виде решений размерностных рекуррентных соотношений. Используя эти соотношения, пакет автоматически строит неоднородные решения и упрощает установку однородных решений. DREAM также предоставляет средства для определения однородных решений рекуррентных соотношений высокого порядка (и может автоматически строить решения для соотношений первого порядка). Поэтому этот пакет может быть

использован для применения метода DRA к топологиям, имеющим более одного мастер-интеграла в некоторых секторах. Также мы представляем два нетривиальных примера применения пакета: четырёхпетлевые полностью массивные диаграммы типа «тэдпол» и трёхпетлевые разрезанные диаграммы, необходимые для вычисления ширины распада парапозитрония в четыре фотона. В настоящей работе впервые получено аналитическое выражение для этой ширины.

«Мероморфные решения рекуррентных соотношений и метод DRA для многокомпонентных мастер-интегралов»

Р.Н. Ли, К.Т. Мингулов
arXiv:1712.05166

Мы описываем метод для нахождения мероморфных решений рекуррентных соотношений высокого порядка в виде сумм по полюсам, чьи коэффициенты определяются рекурсивно. Представлено несколько примеров применения этой методики. Главное преимущество описанного подхода заключается в прозрачности аналитических свойств решений (положение полюсов явное, а поведение на бесконечности может быть легко определено). Именно эти свойства и требуются для применения метода многопетлевых вычислений, основанного на размерностных рекуррентных соотношениях и аналитичности (метод DRA).

«Вклады n_f^2 в четырёхпетлевые фермионные формфакторы»

Р.Н. Ли, А.В. Смирнов, В.А. Смирнов,
М. Штейнхаузер
Phys.Rev. D96 (2017) 014008

Мы вычисляем четырёхпетлевые вклады в фотон-кварковый и хиггс-кварковый формфакторы от диаграмм, содержащих две замкнутые фермионные петли. Приведены аналитические результаты для всех непланарных мастер-интегралов из двух непланарных семейств, входящих в наши вычисления.

«Решение дифференциальных уравнений для Фейнмановских интегралов разложением около сингулярных точек»

Р.Н. Ли, А.В. Смирнов, В.А. Смирнов
arXiv:1709.07525, принята к печати в JHEP

Мы описываем стратегию решения дифференциальных уравнений для фейнмановских интегралов, основанную на разложении в степенные ряды вблизи особых точек и позволяющую получать результаты для соответствующих интегралов с произвольно высокой точностью. Мы рассматриваем семейство интегралов,

зависящее от двух размерных параметров, т. е., нетривиально зависящее от их отношения. Наш метод ориентирован, в первую очередь, на ситуации, когда канонического вида дифференциальных уравнений не существует. Мы приводим компьютерную реализацию нашего алгоритма для простого примера черырёхпетлевых «sunset» интегралов с тремя равными ненулевыми массами. Наша программа позволяет получать значения мастер-интегралов в любой точке на вещественной оси с запрашиваемыми точностью и порядком разложения по ϵ .

«Четырёхпетлевой фактор кварка и касповая аномальная размерность в пределе больших N_c в КХД»

Й. Хенн, Р.Н. Ли, А.В. Смирнов, В.А. Смирнов,
М. Штейнхаузер
JHEP 1703 (2017) 139

Мы вычисляем четырёхпетлевые КХД-поправки к безмассовому формфактору F_q кварк-антикварк-фотон в пределе больших N_c . Из его полюсной части мы извлекаем аналитические выражения для соответствующих касповых и коллинеарных аномальных размерностей.

«Нормированная фуковская форма на римановой сфере и дифференциальные уравнения для многопетлевых интегралов»

Р.Н. Ли, А.А. Померанский
arXiv:1707.07856

Рассмотрен вопрос о приводимости системы дифференциальных уравнений на сфере Римана к нормированной фуковской форме. Дифференциальные уравнения для многопетлевых интегралов в ϵ -форме являются частным примером нормированной фуковской формы. Мы формулируем алгоритмический критерий приводимости. Мы рассматриваем также вопрос о подходящем выборе независимой переменной в системе дифференциальных уравнений, пригодном для ее приведения к ϵ -форме.

«Кулоновские эффекты в e^+e^- электророжении тяжёлой заряженной частицей в атомном поле при высоких энергиях»

П.А. Крачков А.И. Мильштейн
Phys.Lett. B771 (2017) 5-8

Исследованы кулоновские поправки к процессу рождения электрон-позитронных пар тяжёлой заряженной частицей в атомном поле. Мы точно учли взаимодействие с атомным полем как электрон-позитронной пары, так и тяжёлой частицы. Показано, что вопреки общепринятому мнению, дифферен-

циальное сечение по импульсу тяжёлой частицы сильно зависит от взаимодействия тяжёлой частицы с атомным полем. Однако, сечение, проинтегрированное по импульсу тяжёлой частицы не зависит от этого взаимодействия.

«Взаимодействие реальных и виртуальных протон-антипротонных пар в распадах

$$J/\psi \rightarrow p\bar{p}(\rho, \omega)»$$

А.И. Мильштейн, С.Г. Сальников
Nuclear Physics A 966, 54-63 (2017).

Спектр инвариантных масс протон-антипротонной пары в $J/\psi \rightarrow p\bar{p}\omega$, $J/\psi \rightarrow p\bar{p}\rho$ и $J/\psi \rightarrow p\bar{p}\omega$ вблизи порога рождения пары вычислен с помощью нуклон-antinуклонного оптического потенциала. Предложена модель потенциала для взаимодействия в состоянии 1S_0 . Параметры модели получены фитированием сечения нуклон-antinуклонного рассеяния вместе со спектром инвариантных масс протон-антипротонной пары в распадах J/ψ . Получено хорошее согласие с имеющимися экспериментальными данными. Используя наш подход метода функции Грина, мы также описали пик в спектре инвариантных масс $\eta'\pi^+\pi^-$ в распаде $J/\psi \rightarrow \gamma\eta'\pi^+\pi^-$ в области энергий около порога рождения $N\bar{N}$ пары.

«Эксклюзивные дифракционные процессы с насыщением в СГЛП»

Р. Буссари, А. В. Грабовский, Д. Ю. Иванов,
Л. Шимановский, С. Валлон
PoS(DIS2017)062

Мы представляем два эксклюзивных импакт фактора, вычисленных в СГП с помощью подхода ударных волн в КХД. Это первый этап изучения широкого круга процессов с насыщением в ep , eA , pp и pA столкновениях.

«Вычисление импакт фактора эксклюзивного дифракционного рождения легкого векторного мезона в СГП с насыщением»

Р. Буссари, А. В. Грабовский, Д. Ю. Иванов,
Л. Шимановский, С. Валлон
Phys. Rev. Lett. 119, 072002

Мы выполнили первый расчет эксклюзивного импакт фактора перехода $\gamma(^*) \rightarrow V(\rho, \phi, \omega)$ в СГП в подходе ударных волн в наиболее общей кинематике. Это позволяет провести первые количественные исследования насыщения в ядрах и нуклонах за пределами ГЛП для целого ряда эксклюзивных процессов в области малых x , которые изучаются на существующих и будут изучаться на планируемых к постройке ускорителях.

**«Импакт фактор эксклюзивного
дифракционного рождения двух струй в СГП»**

Р. Буссари, А. В. Грабовский,
Л. Шимановский, С. Валлон
AIP Conference Proceedings 1819, 030009 (2017)

Мы представляем основные этапы вычисления импакт фактора эксклюзивного дифракционного фото-и электро-рождения двух струй вперед в СГП. Мы детально описываем сокращение всех сингулярностей, возникающих на промежуточных этапах.

3.6. КЭД

**«Поляризационный тензор фотона
в электрическом поле»**

В.М.Катков
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research
B 402 (2017) 118

Поляризационный оператор в постоянном и однородном электрическом поле E исследуется во всем спектре энергий фотона. Для энергий фотона меньше вакуумной энергии $eE\hbar/mc$ найденная вероятность описывает поглощение мягкого фотона виртуальными электроном и позитроном. При таких энергиях основной вклад в вероятность дает процесс поглощения фотона реальными электроном и позитроном, рожденными электрическим полем.

4

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И
УПРАВЛЯЕМЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ
СИНТЕЗ

4.1. СТАБИЛИЗАЦИЯ ПЛАЗМЫ ПРИ МОЩНОМ ЛОКАЛИЗОВАННОМ ЭЦР-НАГРЕВЕ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ ГДЛ

В серии экспериментов 2014-2015 годов на установке ГДЛ был исследован режим удержания плазмы с высокой электронной температурой (T_e). Согласно результатам измерений, при помощи системы Томсоновского рассеяния, значения электронной температуры на оси установки составили $T_e = 600 - 700$ эВ при плотности плазмы $0,7 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. При этом в единичных случаях значения T_e составили свыше 900 эВ, что более чем в три раза превышает значения, достигнутые как в предыдущих экспериментах на ГДЛ, так и на всех других установках открытого типа, работающих в квази-стационарном режиме. Существенное продвижение в параметрах стало возможным за счет применения системы ЭЦР-нагрева плазмы мощностью 0,7 МВт и частотой 54,5 ГГц в дополнение к основному нагреву плазмы пучками нейтральных атомов мощностью 5 МВт. Достижение значений T_e , близких к 1 кэВ, а также результаты предыдущих экспериментов на ГДЛ, в которых было продемонстрировано устойчивое удержание плазмы с высоким относительным давлением плазмы $\beta = 60\%$, делают достаточно обоснованной экстраполяцию параметров, при которой становится возможным термоядерное применение установок такого типа. В частности, некоторые из этих параметров уже близки к требуемым для создания материаловедческого источника термоядерных нейтронов, а также для источника нейтронов в составе гибридного реактора синтеза-деления, который может быть использован для сжигания радиоактивных отходов атомных электростанций и их наиболее опасных компонентов – минорных актинидов. Кроме того, результаты этих экспериментов являются весьма обнадеживающими относительно возможности достижения еще более высоких параметров плазмы, необходимых для создания полноценного реактора синтеза на основе магнитной ловушки открытого типа.

Описанные эксперименты подтверждают существующую модель продольного баланса энергии в магнитной ловушке открытого типа, в рамках которой за счет существенного расширения силовых линий магнитного поля в области истечения плазмы из ловушки удается многократно снизить продольный поток энергии, уносимый электронной компонентой плазмы. Однако, в данных экспериментах было обнаружено, что ЭЦР-нагрев может приводить и к развитию магнитногидродинамической (МГД) неустойчивости плазмы, которая значительно увеличивает потери плазмы поперек магнитного поля и не может быть полностью подавлена доступными методами стабилизации плазмы. В частности, в случае,

когда мощность микроволнового излучения сконцентрирована в узкой области вблизи оси установки, что приводит к резко пикированному профилю электронной температуры, длительность эффективного нагрева плазмы ограничивается значением $\sim 0,6$ мс. После этого в плазме развивается неустойчивость желобкового типа с азимутальным волновым числом $m = 1$ и частотой несколько кГц, что препятствует дальнейшему устойчивому поглощению микроволнового излучения. Исходя из того, что в случае специально уширенного профиля поглощения излучения и более пологого профиля температуры неустойчивости не наблюдается, можно сделать предположение, что определенную роль здесь может играть высокий градиент электронной температуры плазмы.

Невозможность поддерживать высокие значения электронной температуры на протяжении всего разряда являлась не только важной научной проблемой, но и серьезным ограничением экспериментов по ЭЦР-нагреву на установке ГДЛ. Нужно заметить, что в предыдущих экспериментах на открытых ловушках также встречались проблемы с устойчивостью плазмы при попытках увеличить электронную температуру при помощи ЭЦР-нагрева. Так на установке GAMMA-10 было показано, что ЭЦР-нагрев позволяет значительно поднять электронную температуру в центральном соленоиде, при условии, что мощность излучения достаточно мала. Однако, при увеличении мощности выше определенного порогового значения ЭЦР-нагрев приводит к значительному ухудшению удержания плазмы и падению диамагнитного сигнала. Как измерения при помощи регистрации мягкого рентгеновского излучения на установке GAMMA-10, так и измерения при помощи магнитных зондов на установке ГДЛ показывают, что в плазме возбуждаются низкочастотные колебания с преобладанием мод с низким азимутальным волновым числом. Объяснение, предложенное командой GAMMA-10, заключается в отклонении от осевой симметрии профиля поглощения мощности. К сожалению, данная гипотеза не может быть проверена на ГДЛ из-за особенностей применяемой схемы ввода излучения в плазму. Хотя полная аналогия между данными неустойчивостями на этих установках не является полностью обоснованной, необходимо подчеркнуть, что возможность полноценного применения ЭЦР-нагрева плазмы в магнитных ловушках открытого типа является важной научной задачей.

Для решения описанной задачи на установке ГДЛ был предложен и экспериментально исследован метод подавления неустойчивости, позволяющий добиться стабильного удержания плазмы при микроволновом нагреве в осесимметричной магнитной ловушке открытого типа. В экспериментах, о которых пойдет речь ниже, были получены значения электронной температуры, близкие к достигнутым ранее

рекордным, но в условиях стабильного разряда, характеризующегося низким уровнем МГД-колебаний плазмы и длительностью, ограниченной только лишь длительностью работы системы нагрева и стабильностью поддержания магнитного поля в установке. Как будет показано ниже, реализация стабильного разряда с высокой электронной температурой открывает новые возможности для изучения физики удержания плазмы в таких системах.

Одной из особенностей магнитных ловушек открытого типа является достаточно высокий амбиполярный потенциал плазмы, который выравнивает потоки электронов и ионов из ловушки. Радиальная зависимость электронной температуры в осесимметричной ловушке приводит к возникновению электрического поля, направленного по радиусу и вызывающего дрейф плазмы в скрещенных полях вокруг оси ловушки со скоростью, пропорциональной ∇T_e . Исходя из этого, предполагается, что неустойчивость обязана своему возникновению высокому градиенту электронной температуры, который дает прямой «центробежный» вклад в эффективную «силу тяжести», необходимую для возникновения неустойчивости по типу Рэля-Тэйлора. Отметим, что также возможно возбуждение неустойчивости типа Кельвина-Гельмгольца за счет резких скачков в профиле скорости азимутального дрейфа плазмы в приосевой области.

Для воздействия на вращение плазмы в локальной области, предположительно являющейся источником неустойчивости, было предложено использовать

метод, близкий по своей сути к основному методу МГД-стабилизации плазмы в ГДЛ – вихревому удержанию. Последний позволяет вводить в насыщение МГД-колебания плазмы, ограничивая их амплитуду на низком уровне за счет искусственного создания азимутального дрейфа плазмы в скрещенных полях на границе плазмы. Нужно заметить, что совместное действие вихревого удержания и эффектов конечного ларморовского радиуса в плазме ГДЛ позволяет достаточно эффективно подавлять неустойчивости желобкового типа, что, в итоге, позволяет стабильно удерживать плазму высокого давления в осесимметричной соленоидальной конфигурации магнитного поля. Для создания стабилизирующего вихревого слоя, к границе плазмы при помощи радиальных лимитеров прикладывается положительный потенциал. Периферийные секции торцевых приемников плазмы (рис.4.1.1.), в свою очередь, заземляются. Однако, в случае разрядов с ЭЦР-нагревом в режиме с высокой электронной температурой, было обнаружено, что вихревого удержания даже со значительно увеличенным потенциалом лимитера недостаточно для полной стабилизации плазмы. Данный факт можно рассматривать как указание на то, что источник неустойчивости в данном случае действительно находится в приосевой области плазмы и влияние стабилизирующего слоя дифференциального вращения на периферии на него ограничено.

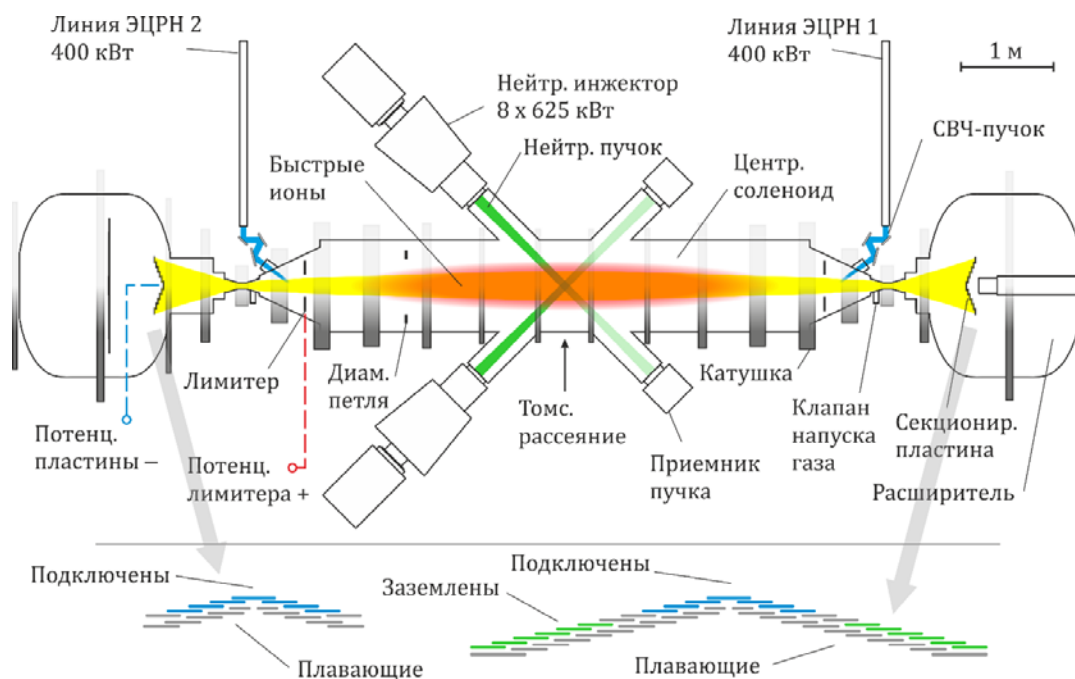


Рис. 4.1.1. Схема эксперимента. В нижней части рисунка схематично показаны новые торцевые пластины, предназначенные для управления потенциалом плазмы в приосевой области. Пластины расположены на достаточном удалении от пробок в степени расширения $V_{пр}/V_{пл} \approx 80$. Одну из пластин пришлось значительно уменьшить для обеспечения приемлемой скорости откачки газа.

В экспериментах, обсуждаемых далее, был предложен новый подход, в полной мере реализовать который стало возможным, после того как на установке ГДЛ в 2016 году был исследован метод инициации разряда за счет СВЧ-пробоя нейтрального газа. Было обнаружено, что при использовании одного из микроволновых пучков системы электронно-циклотронного резонансного (ЭЦР) нагрева плазмы удается создать плазменную мишень, пригодную для захвата пучков нейтральных атомов – основной системы нагрева плазмы в ГДЛ мощностью 5 МВт. Параметры разряда, инициированного за счет СВЧ-пробоя, соответствуют или превосходят таковые в разряде, инициированном дуговым генератором плазмы, при этом обеспечивая на несколько порядков лучшие вакуумные условия в торцевых расширителях. Это делает возможным постановку экспериментов по изучению физики продольного удержания плазмы в условиях точно контролируемого давления нейтрального газа в области расширяющегося потока плазмы вблизи торцевой стенки. Кроме того, за счет устранения остаточного влияния потенциала дугового генератора становится возможным проведение экспериментов с более точным и прогнозируемым управлением потенциалом плазмы внешними электродами.

Чтобы получить возможность контролировать потенциал плазмы по всему радиусу, были установлены новые секционированные торцевые пластины (рис.4.1.1.). Пластины, состоящие из набора изолированных колец, позволили проецировать в плазму произвольное радиальное распределение внешнего потенциала с амплитудой $|U_{ep}| < 1,2$ кВ. Забегая вперед, отметим, что в большинстве экспериментов было использовано простое ступенчатое распределение потенциала, соответствующее подключению колец, схематично изображенному на рис.4.1.1.

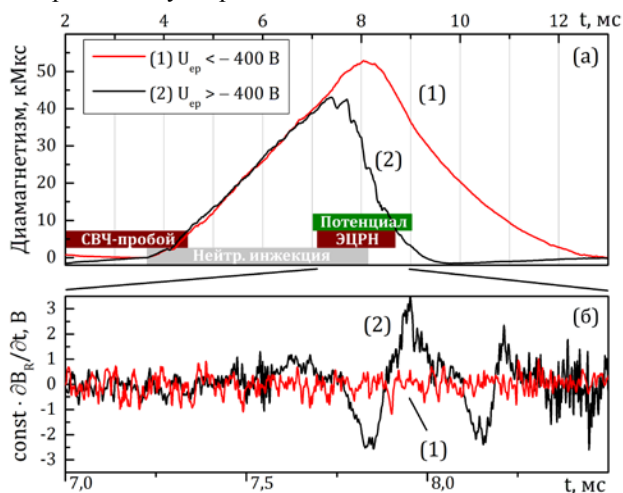


Рис. 4.1.2. Временные зависимости диамагнитного сигнала (а) быстрых ионов; «сырой» сигнал магнитного зонда (б) в случае стабилизированного (1)

и нестабилизированного (2) разрядов. Потенциал лимитера составляет +250 В.

Типичный сценарий разряда показан на рис.4.1.2. Разряд инициируется при помощи пробоя нейтрального газа СВЧ-пучком, который генерируется одним из гиротронов системы ЭЦР-нагрева. Отметим, что по техническим причинам в данном эксперименте использование одного из гиротронов для старта разряда не позволяет использовать его на основной стадии нагрева плазмы. После создания плазменной мишени, включается система нейтральной инжекции мощностью 5 МВт (от $t = 3,7$ до $8,2$ мс). В момент времени $t = 7,0$ мс включается ЭЦР-нагрев плазмы мощностью 400 кВт. В согласии с предыдущими наблюдениями, ЭЦР-нагрев с локализованным поглощением мощности в отсутствие дополнительной стабилизации приводит к резкому ухудшению удержания, как видно из диамагнитного сигнала на рис.4.1.2 (а). Согласно данным, полученным при помощи магнитных зондов, в плазме возбуждается неустойчивость желобкового типа ($k_{||} = 0$) с доминированием низшей азимутальной моды $m = 1$ и частотой около 4 кГц. В результате, электронная температура плазмы увеличивается только на короткий промежуток времени, как показано на рис.4.1.3. Однако, при включении дополнительного стабилизирующего потенциала одновременно с началом ЭЦР-нагрева, наблюдается совершенно иная картина. Экспериментально было обнаружено, что подача отрицательного смещения на электроды плазмодриемника, проецирующиеся на центральную область плазменного столба, приводит к полному подавлению неустойчивости. Нужно заметить, что в предыдущих экспериментах было показано, что увеличение потенциала лимитера также позволяет предотвратить полную потерю плазмы, однако, даже в этом случае уровень МГД-колебаний остается достаточно высоким, что приводит к дополнительным поперечным потерям плазмы и падению электронной температуры при работающем ЭЦР-нагреве. В противоположность этому, при локальной стабилизации приосевой области, уровень магнитных колебаний полностью возвращается на фоновый уровень (рис.4.1.2, б), а устойчивый рост диамагнитного сигнала говорит об отсутствии каких-либо дополнительных потерь, связанных с ЭЦР-нагревом.

На рис.4.1.3. показана временная зависимость электронной температуры плазмы на оси установки в случае стабилизированного и нестабилизированного разрядов. В случае, когда значение дополнительного стабилизирующего потенциала составляет $U_{ep} < -400$ В, электронная температура находится в диапазоне 350-450 эВ в течении более чем 1 мс. При этом плазма МГД-устойчива в течении всей стадии ЭЦР-нагрева длительностью 1,5 мс. Небольшой спад электронной температуры к концу разряда объясняется отходом от

оптимальных условий поглощения СВЧ-излучения по причине выключения нейтральной инжекции и спада магнитного поля в области ЭЦ-резонанса. На рис.4.1.3. также показан спад электронной температуры в сценарии, когда ЭЦР-нагрев выключается на 0,5 мс раньше, а подача стабилизирующего потенциала продолжается. Динамика профилей электронной температуры в данном специальном эксперименте показана на рис.4.1.4. Из рис.4.1.4. также можно заметить, что в режиме с высокой электронной температурой в плазме устанавливается «узкий» профиль температуры с характерным радиусом 5 см.

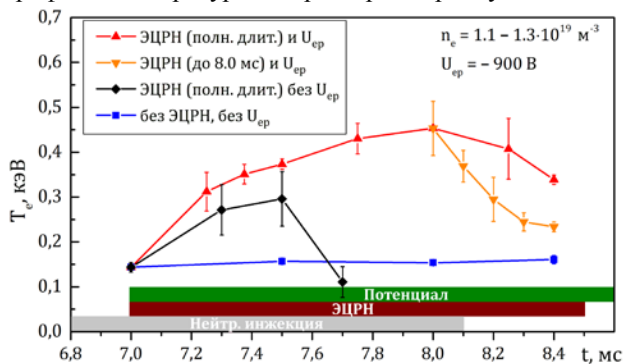


Рис. 4.1.3. Временные зависимости электронной температуры на оси установки в случае стабилизированного разряда с ЭЦР-нагревом полной длительности (▲); то же, но с выключением ЭЦРН в 8.0 мс (▼); нестабилизированный разряд с ЭЦРН (◆); разряд без ЭЦРН (■).

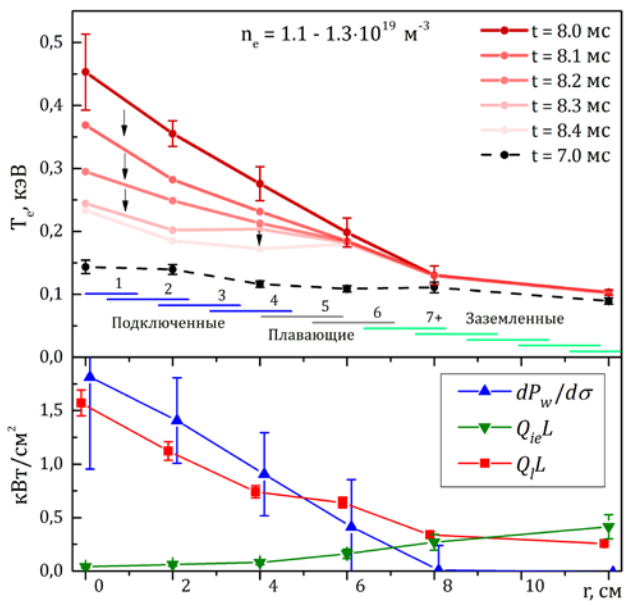


Рис. 4.1.4. Верхняя часть: Динамика профиля электронной температуры в центральной плоскости ловушки при выключении ЭЦР-нагрева и включенном стабилизирующем потенциале; радиальный профиль внешнего потенциала показан схематично под графиками. Нижняя часть: рассчитанные радиальные профили источников нагрева электронной компоненты (▲ ЭЦРН, ▼ нагрев быстрыми ионами) и газо-

динамические потери ■ в момент времени $t = 8,0$ мс. Радиальный перенос энергии составляет менее чем 5% в каждой показанной точке. Полный радиус плазмы в центральной плоскости – 15 см.

Для поиска оптимального распределения потенциала к источнику питания подключалось от 1 до 5 центральных дисков (рис.4.1.4.). Было установлено, что устойчивая стабилизация достигается при ширине профиля потенциала, соответствующем 3, 4 или 5 подключенным центральным электродам. При этом отчетливой зависимости электронной температуры от ширины профиля не наблюдалось. Кроме этого, был опробован «треугольный» профиль потенциала, по форме повторяющий форму пика электронной температуры: при значении потенциала на оси $U_{ep} < 500$ В его влияние аналогично влиянию прямоугольного профиля. Из всего этого можно сделать вывод, что стабилизация слабо чувствительна к форме профиля потенциала, требуется лишь, чтобы ширина этого профиля приблизительно соответствовала ширине пика электронной температуры.

Была проведена серия экспериментов с различными сценариями выключения ЭЦР-нагрева и потенциала. Было установлено, что: (а) отключение потенциала при работающем ЭЦР-нагреве приводит к развитию неустойчивости и падению температуры за время менее 100 мс; (б) одновременное отключение потенциала и нагрева также приводит к развитию неустойчивости; (в) включение потенциала без нагрева возбуждает МГД-колебания плазмы низкой амплитуды (рис.4.1.5.). Таким образом, можно предположить, что неустойчивость эффективно подавляется, когда вклад во дрейфовое вращение от ∇T_e скомпенсирован вкладом от ∇U_{ep} вблизи «основания» пика электронной температуры.

Особый интерес для анализа представляет случай, когда ЭЦР-нагрев выключается до конца разряда, а стабилизирующий потенциал продолжает подаваться (рис.4.1.4.). В этом случае наблюдается плавная релаксация профиля температуры при заведомо отсутствующих транспортных процессах, связанных с возбуждением МГД-неустойчивостей. Это позволяет провести моделирование транспорта энергии в плазме с высокой электронной температурой и ее резко неоднородным распределением по радиусу. В качестве простейшего примера, можно записать уравнение переноса энергии для электронов, усредненное вдоль силовой линии с учетом нагрева быстрыми ионами и СВЧ-излучением:

$$\frac{3}{2} \frac{d}{dt} (N_e T_e) - \frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r \kappa_{\perp} \frac{dT_e}{dr}) = \frac{1}{L} \frac{dP_w}{d\sigma} + Q_{ie} - Q_l$$

Здесь r – радиальная координата в пересчете на центральную плоскость; L – расстояние между пробками; κ_{\perp} – коэффициент теплопроводности, описывающий транспорт поперек магнитного поля; $\frac{dP_w}{d\sigma}$ – СВЧ-мощность, поглощенная в силовой трубке с

площадью сечения $d\sigma = 2\pi r dr$; $Q_{ie} = v_{ie}^\epsilon N_e E_i$ – слагаемое, описывающее нагрев электронов быстрыми ионами со средней энергией E_i и обратным временем обмена энергией v_{ie}^ϵ ; Q_l – продольные потери энергии, которые требуется найти.

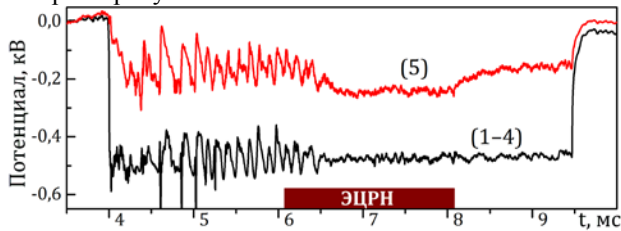


Рис. 4.1.5. Временная зависимость потенциала подключенных к источнику питания электродов (1-4) и смежного плавающего (5) электродов. Нумерация электродов соответствует рис.4.1.4. После включения ЭЦР-нагрева и установления пикированного профиля температуры происходит затухание колебаний потенциала пластин.

Главным результатом предыдущих исследований режимов с высокой электронной температурой в ГДЛ является экспериментальное подтверждение газодинамической модели потока энергии вдоль открытых силовых линий, т.е. выполнение соотношения $Q_l \sim T_e^{3/2}$ вместо классической «Спитцеровской» оценки $Q_l \sim T_e^{7/2}$. Новые данные, полученные в рамках данного эксперимента, позволяют продвинуться дальше и непосредственно определить коэффициент пропорциональности в выражении для газодинамических потерь. Если предположить, что вторичные электроны не проникают в плазму, а продольные потери значительно превышают поперечные, то из условия квазинейтральности плазмы следует, что на один электрон вылетающий вдоль силовых линий из ловушки приходится один ион (с единичным зарядом). Выравнивание потоков электронов и ионов происходит за счет формирования потенциального барьера для электронов. Электроны должны преодолеть этот барьер, прежде чем смогут покинуть ловушку, и поэтому выносят из плазмы среднюю энергию $A T_e \gg T_e$. В конечном счете, большая часть энергии передается ионам, вылетающим из ловушки и ускоряющимся в этом потенциале. Для дейтериевой плазмы $A = 5 - 8$ в зависимости от условий удержания. Поток частиц из ловушки определяется из условия, что электроны и ионы должны иметь определенную среднюю скорость на срезе пробки – скорость ионного звука $v_s = \sqrt{(T_e + T_i)/m_i}$ в случае максвелловского распределения по скоростям у электронов; в нашем случае можно дополнительно предположить $T_e \gg T_i$. Ионы достигают звуковой скорости на срезе пробки за счет формирования дополнительного скачка потенциала $e\phi_c \approx T_e/2$ между центром ловушки и пробкой. Подытоживая, запишем газодинамической поток энергии из ловушки:

$$Q_l = A N_e T_e / \tau_{gd} \approx A N_e T_e \frac{2v_s}{RL} \exp\left(-\frac{e\phi_c}{T_e}\right)$$

где множитель 2 введен для учета двух концов ловушки, а $R \approx 30$ – пробочное отношение.

Неизвестные величины в уравнении переноса энергии можно оценить из измеренных временных зависимостей профилей электронной температуры и плотности плазмы. Так, сравнивая левую часть уравнения до выключения и сразу после выключения ЭЦР-нагрева и предполагая, что в правой части меняется только первое слагаемое, можно вычислить профиль поглощения СВЧ-мощности $dP_w/d\sigma$. Далее, рассматривая процесс остывания плазмы в более поздние моменты времени можно, записать

$Q_{ie} - Q_l = (\alpha T_e^{-3/2} - \beta T_e^{3/2}) N_e$ и, для определенности, $\kappa_\perp = \gamma T_e$ (Бомовская теплопроводность). После этого, подгонкой к экспериментальным данным можно определить неизвестные коэффициенты α , β и γ .

На рис.4.1.4. (нижняя часть) показаны радиальные распределения потоков энергии, полученные описанным выше методом. Поглощенная мощность СВЧ-излучения сконцентрирована близи оси установки, поглощение в периферийных областях незначительно. Полная мощность ЭЦР-нагрева составляет 120 кВт, что приблизительно совпадает с мощностью нагрева, оцененной по приросту диамагнитного сигнала. Распределение мощности нагрева горячими ионами также достаточно хорошо совпадает с результатами численного моделирования, выполненными ранее для данного режима ЭЦР-нагрева. Коэффициент в выражении для газодинамических потерь составил $A = 4,6 \pm 0,4$, что несколько ниже, чем ожидалось и может означать отклонение функции распределения электронов от максвелловской. Поток тепла поперек магнитного поля не превышает 5% от продольных потерь, при этом значения коэффициентов практически не меняются при выборе той или иной модели поперечного транспорта. Более детальное рассмотрение задачи, которое предполагается выполнить позднее, позволит с большей точностью определить вклад поперечного транспорта в потери энергии.

В результате проведенных экспериментов было показано, что локальная модификация радиального распределения потенциала плазмы позволяет полностью подавить неустойчивость, возникающую при локализованном ЭЦР-нагреве плазмы и стабильно удерживать плазму с высокой электронной температурой в магнитной ловушке открытого типа. В частности, впервые на установке ГДЛ был достигнут стабильный разряд со средним значением электронной температуры до 450 эВ в течении 1,5 мс при мощности нагрева излучением 400 кВт. Нужно заметить, что абсолютные значения температуры находятся в

полном соответствии с максимальными значениями, достигнутыми ранее, учитывая значительно возросшую плотность плазмы и в два раза меньшую мощность нагрева. Это, в частности, означает, что разработанный метод стабилизации заведомо не вносит дополнительных потерь энергии. При использовании нового режима со стабильным разрядом с высокой электронной температурой, был проведен эксперимент, позволивший проверить и уточнить базовую модель газодинамического удержания плазмы в ловушке открытого типа. В целом, было получено близкое соответствие значений продольных потерь энергии в ГДП существующим теоретическим представлениям и экспериментальным данным.

Минимальное значение внешнего потенциала для стабилизации плазмы достаточно невелико, поэтому разработанный метод, вероятно, может быть легко масштабирован на более крупные установки и более высокие значения электронной температуры. В то же время, несмотря на наличие некоторых качественных представлений о механизме возникновения и подавления неустойчивости, эти процессы, несомненно, требуют дальнейшего экспериментального изучения и теоретической проработки.

4.2. ТЕОРИЯ ПЛАЗМЕННОГО КИЛЬВАТЕРНОГО УСКОРЕНИЯ

Драйверы в линейном и слабонелинейном режимах в плазменном кильватерном ускорителе быстро достигают радиального равновесия с кильватерной волной. Равновесное состояние пучка и самосогласованное кильватерное поле получены комбинированием аналитических соотношений, численного интегрирования и моделирования из первых принципов. В равновесном положении плотность пучка сильно пикирована около оси, радиус пучка остается постоянным вдоль большей его части, а продольное изменение фокусирующей силы уравниваются изменением эмиттанса пучка. Распределение поперечного импульса частиц пучка зависит от радиуса и не является ни факторизуемым, ни Гауссовским.

Лазерное кильватерное ускорение электронов в капиллярах и газовых струях с последующим обратным Комптоновским рассеянием высокоинтенсивных лазерных импульсов изучалось в контексте готовящегося эксперимента в Институте Лазерной Физики СО РАН.

Моделирование кильватерного ускорения с протонным драйвером уже продемонстрировало ускоряющие поля, намного превышающие поля в традиционных ускорителях, и возможность ускорения электронов до рекордных энергий в одной плазменной секции. Однако из-за сильных поперечных полей, изменяющихся как по радиусу, так и во времени,

качество витнесса все еще далеко от требуемого для практического применения в будущих коллайдерах. Мы продемонстрировали возможность эффективного ускорения электронов в полом плазменном канале с протонным драйвером. В этом режиме витнесс располагался в области с сильным ускоряющим полем, свободной от плазменных электронов и ионов. Мы показали, что электронный пучок с зарядом, равным 10% от заряда драйвера с энергией 1 ТэВ, может быть ускорен до энергии 0,6 ТэВ с сохранением нормализованного эмиттанса в канале длиной 700 метров. Этот высококачественный и пучок с большим зарядом может открыть путь к будущим плазменным коллайдерам рекордных энергий.

Плазменное кильватерное ускорение с протонным драйвером в моделировании продемонстрировало возможность ускорения частиц до рекордных энергий в одной секции, но его возможности его использования осложнены тем, что современные протонные пучки имеют длину, на порядки большую, чем плазменная длина волны. К счастью, микро-банчировка протонов позволяет возбуждать плазменную волну резонансным образом. Мы предложили использовать полой плазменный канал для плазменного ускорения с несколькими протонными драйверами и показали что это позволяет работать в нелинейном режиме и производить резонансное возбуждение сильных волн в плазме. Этот новый режим характеризуется всеми полезными свойствами полых каналов для ускоренного пучка (такими как сохранение эмиттанса и равномерное ускоряющее поле) и длинными областями стабильного торможения для драйвера. Режим достигается при надлежащем соотношении между скин слоем плазмы, радиусом драйвера, радиусом полого канала и периодом микро-банчировки.

Численное моделирование пучково-плазменных неустойчивостей может приводить к количественно неправильным результатам из-за нереалистично высоких начальных шумов, из которых развиваются неустойчивости. Особое значение имеет кильватерный шум, то есть возмущения потенциала с фазовой скоростью, равной скорости пучка. Контроль уровня шума может позволить экстраполировать результаты моделирования на более реалистичный случай низких шумов. Мы предложили новый метод генерации шумового поля с контролируемой амплитудой с помощью случайным образом размещенных заряженных стержней, распространяющихся впереди пучка. Мы проиллюстрировали метод в моделировании методом частиц в ячейках. Генерация этого шума не сопровождается возникновением паразитного Черенковского излучения.

4.3. ТЕОРИЯ ПЛАЗМЫ

4.3.1. Электростатические неустойчивости в зеркальной ловушке.

Условия для стабилизации дрейфовой циклотронной конусной (DCLC) и двугорбой (DH) микронеустойчивости в зеркальной ловушке критически пересмотрены в предположении, что плазма удерживается в кинетическом режиме, который характеризуется пустым конусом потерь. Рассчитана температура теплых ионов, необходимая для стабилизации неустойчивости DH. Рассчитана доля теплых ионов, необходимая для стабилизации неустойчивости DCLC при заданном радиальном градиенте плотности. Предполагая, что длина волны намного короче ларморовского радиуса, выведен простой критерий устойчивости колебаний DCLC, точность которого проверена сравнением с решением точного дисперсионного уравнения и с известными экспериментальными данными, полученными в прошлые десятилетия в установках для удержания плазмы PR-6, 2XII, 2XIII, TМХ и TМХ-U.

4.3.2. Термоядерный реактор и солнечная энергетика.

Предпринята попытка критически переосмыслить 66-летний опыт развития программы управляемого термоядерного синтеза и на этом основании попытаться ответить на вопрос: будет ли востребован термоядерный реактор в XXI веке? Типовой атомный реактор деления сравнивается с гипотетическим термоядерным реактором по одному из ключевых параметров – выделению энергии на единицу объема активной зоны при использовании смеси дейтерия с тритием и бора-11 с протием. Прогресс в термоядерных исследованиях сопоставляется с бурным развитием солнечной энергетике. Высказано предположение, что человечеству всегда будет нужно разнообразие энергетических ресурсов, поэтому термоядерные электростанции могут быть построены даже при доминировании солнечной энергетике.

4.3.3. Влияние дипольного вклада на терагерцовое излучение плазменных плотно сфокусированных фемтосекундных лазерных импульсов.

Изучен механизм генерации терагерцового излучения из плотно сфокусированных фемтосекундных лазерных импульсов в газовой среде. Измерена картина углового излучения в разных условиях фокусировки и замечено, что с углублением фокуса изменяется диаграмма углового излучения и повышается эффективность преобразования оптического сигнала в терагерцовом излучении. Анализ наблюдаемых явлений привел к предположению о преобладании дипольного

излучения в большинстве случаев, несмотря на существующую концепцию доминирующей роли квадрупольного механизма излучения. Исходя из этих предположений, теория явления переходного фототока была разработана и использована для численного соответствия экспериментальных данных

4.4. ИНЖЕКТОРЫ ПУЧКОВ БЫСТРЫХ АТОМОВ И ИОНОВ

4.4.1. Инжекторы пучков быстрых атомов.

Для модернизированной установки C-2W (компания Tri Alpha Technologies, США) спроектирована, изготовлена и поставлена новая система атомарной инъекции, состоящая из 8 инжекторов с суммарной мощностью инъекции быстрых атомов водорода 14 МВт. В конце 2017 года система инъекции была запущена и выведена на расчетные параметры: энергия частиц

15 кэВ, ионный ток пучков 150 А, длительность инъекции по сравнению с первоначальной версией системы инъекции была увеличена с 8 до 30 мс. Для извлечения 150-амперного ионного пучка в инжекторах использован источник плазмы со сложением плазменных струй от 4 дуговых генераторов плазмы. Для формирования пучка использована многоселевая 3-электродная ускоряющая ионно-оптическая система с оригинальной геометрией формирующей ячейки.

Система атомарной инъекции прошла приемные испытания и активно используется в экспериментах на установке C-2W.

Во второй половине 2017 года также по заказу TAE Technologies разработана дальнейшая модификация инжекторов с целью получить пучки с перестраиваемой во время импульса энергией с 15 кэВ до 40 кэВ при сохранении тока пучка. Такая система инъекции позволит проводить эксперименты с переменной мощностью инъекции и энергией частиц пучка. Проведены тесты на модели подобного инжектора с перестраиваемой энергией. Начато изготовление полномасштабных инжекторов с перестраиваемой энергией.

4.4.2. Исследование характеристик мощного квазистационарного поверхностно-плазменного источника отрицательных ионов.

Исследованы характеристики созданного в ИЯФ мощного квазистационарного поверхностно-плазменного источника отрицательных ионов H⁻ с ВЧ генератором плазмы. Получен пучок ионов H⁻ с током более 1 А и энергией более 100 кэВ и проведена транспортировка через низкоэнергетичный тракт.

Схема мощного ВЧ источника отрицательных ионов (ОИ) ИЯФ приведена на Рис. 4.4.1. Для генерации плазмы применялся высокочастотный разряд,

создаваемый с помощью индуктора 1. Формируемые в разряде положительные ионы и атомы бомбардировали поверхность плазменного электрода 3 и конвертировались в отрицательные ионы на его поверхности. Через отверстия в плазменном электроде образуемые отрицательные тоны вытягивались напряжением, приложенным в вытягивающему электроду 5 и ускорялись до энергии 100 кэВ напряжением на ускоряющем электроде 6. Для усиления генерации отрицательных ионов на поверхность плазменного электрода через распределительную трубку 4 подавались пары цезия. Для подавления потока электронов, выходящих из источника в вытягивающем и ускоряющем зазорах источника создавалось поперечное магнитное поле, силовые линии которого показаны пунктирными линиями.

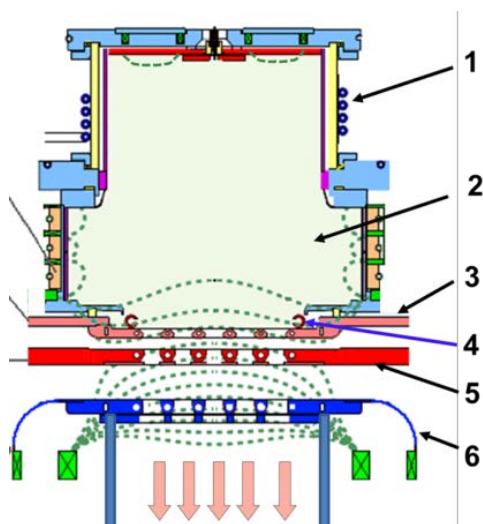


Рис. 4.4.1. Схема мощного ВЧ источника отрицательных ионов ИЯФ.

Принципиально-новыми элементами в конструкции источника ИЯФ являются система распределенной подачи цезия и система активного контроля температуры электродов ионно-оптической системы, обеспечиваемого за счет прокачки горячего теплоносителя через каналы в электродах (Рис. 4.4.1). Проведенными исследованиями была подтверждена работоспособность и высокая эффективность новых элементов, введенных в конструкцию источника. Было показано, что при подаче цезия через малые отверстия распределительной трубки устойчивое цезиевое покрытие на поверхности плазменного электрода обеспечивается за счет его плавного выделения и перераспределения ВЧ разрядом, что поддерживает интенсивную генерацию пучка ОИ с током более 1 А в течение продолжительного времени (более 7 недель) после однократного ввода 0,5 г цезия. Было подтверждено, что температурный контроль электродов и их нагрев прокачкой горячего

теплоносителя приводит к увеличению высоковольтной прочности источника, значительно ускоряет тренировку высоковольтных зазоров источника, обеспечивает поддержание высоких напряжений и формирование высокоэнергетичного пучка. В результате нововведений из источника ИЯФ были получены стабильные пучки ионов Н⁺ с током пучка на выходе ИОС 1,2 А и энергией 90 кэВ в импульсах длительностью 2 с при мощности ВЧ разряда 34 кВт и исходном давлении водорода 0,4 Па. Эмиссионная плотность тока пучка при вытягивании составляла 28 мА/см². Ток сопутствующих электронов был не более 1 А.

Исследования транспортировки пучков ионов Н⁺ через низкоэнергетичный тракт проводились на экспериментальном стенде, схема которого показана на рис. 4.4.2. Сепарация пучка ионов Н⁺ от сопутствующих вредных примесей (электронов, потоков быстрых атомов и молекулярного водорода, атомов цезия и др.) осуществлялась за счет отклонения ускоренного пучка отрицательных ионов магнитным полем отклоняющих магнитов с большой апертурой (рис. 4.4.2).

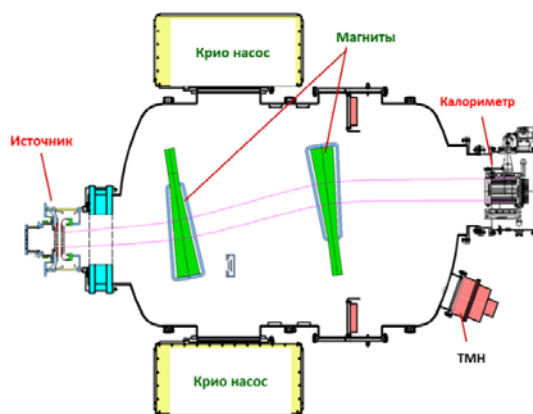


Рис. 4.4.2. Схема стенда для получения и транспортировки интенсивных пучков ОИ.

Исследования транспортировки пучка ОИ показали, что через секцию с поворотными магнитами на расстоянии 3,5 м удается провести ~ 80 % полученного из источника пучка ОИ, а сформированный пучок ОИ хорошо отделяется от образуемых в процессе транспортировки быстрых атомов обдирки и сопутствующих потоков частиц. Характерное распределение плотности тока 1 А пучка ионов Н⁺, зарегистрированное в плоскости калориметра 30x35 см², показано на Рис. 4.4.3.

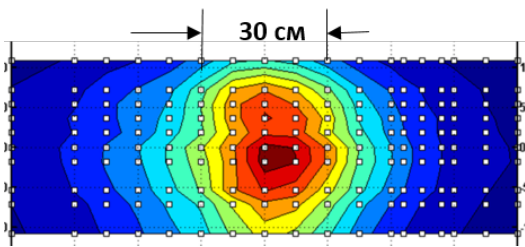


Рис. 4.4.3. Распределение 1 А, 93 кэВ пучка ионов Н⁻ в плоскости калориметра на расстоянии 3,5 м от ионного источника.

4.4.3. Разработка мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода.

В 2017 году продолжились изготовление и монтаж высоковольтного стенда мощного непрерывного инжектора пучков быстрых атомов водорода. Находящаяся под высоким потенциалом платформа инжектора с установленными на ней системами ВЧ питания 1, термостабилизации 2, источником отрицательных ионов 3, вакуумной секцией с поворотными магнитами 4 и ускорительной трубкой 5 показаны на рис. 4.4.4.

В цокольном помещении под высоковольтной платформой смонтирована система питания ускорителя пучка отрицательных ионов, расположенная в баках, заполненных элегазом. Один из баков системы питания с высоковольтным силовым выводом показан на рис. 4.4.5.

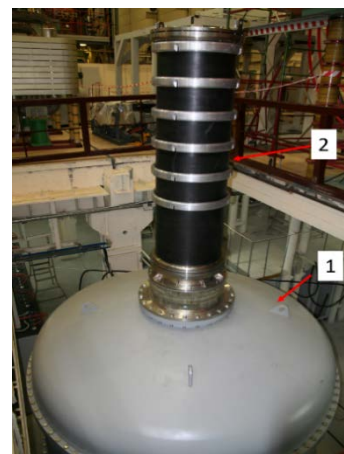


Рис. 4.4.5. 300-кВ секция выпрямителя в баке 1 с силовым выводом через проходной изолятор 2.

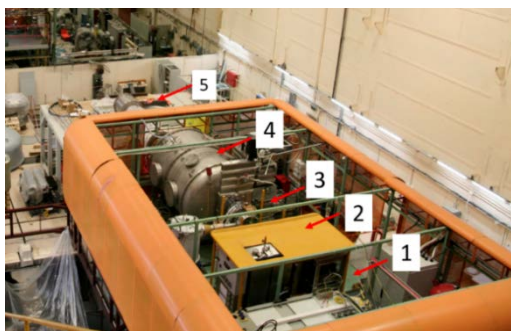


Рис. 4.4.4. Высоковольтная платформа инжектора

4.5. РАБОТЫ НА КОМПЛЕКСЕ ГОЛ-3

4.5.2. Эксперименты на установке ГОЛ-3Т.

4.5.1. Комплекс ГОЛ-3: общее описание.

В данном разделе отчета представлены работы, проводимые в рамках программы ГОЛ-3. Первоначально эта программа предусматривала проведение исследований по быстрому коллективному нагреву плазмы сильноточным релятивистским электронным пучком (РЭП) и последующее удержание горячей плазмы в многопробочной магнитной ловушке. Установка ГОЛ-3 работала в новосибирском Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН с 1988 г., она являлась одной из крупнейших установок, предназначенных для экспериментов по пучково-плазменной тематике. Основные задачи первоначального проекта были выполнены, поэтому в 2014-2015 годах при поддержке субсидии Министерства образования и науки была начата глубокая реконструкция экспериментальной базы с целью расширения тематик научных исследований и повышения эффективности работы.

Уникальные технические возможности установки ГОЛ-3 позволили существенно расширить область исследований по сравнению с первоначальными планами, в настоящее время работы ведутся по следующим тематикам:

- 1) Физика пучково-плазменного взаимодействия;
- 2) Физика многопробочного удержания плазмы;
- 3) Воздействие мощных потоков электронно-горячей плазмы на материалы первой стенки вплоть до нагрузок, соответствующих большому срыву в токамаках реакторного класса;
- 4) Генерация электромагнитного излучения субтерагерцового диапазона в турбулентной плазме, нагреваемой электронным пучком;
- 5) Развитие технологии генерации мощных электронных пучков микросекундного и субмиллисекундного диапазона длительностей.

Эмиссия в пространство импульсных пучков излучения, содержащих одновременно несколько частот миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, позволяет визуализировать находящиеся в пространстве скрытые объекты с высоким пространственным разрешением и высоким контрастом изображения, что достигается регистрацией отраженного сигнала частотно-селективными матричными приемниками для используемого интервала частот. В связи с перспективой использования многочастотных пучков излучения, несомненный интерес представляет исследование генерации электромагнитного излучения при релаксации сильноточного РЭП в плазме.

Установка, предназначенная для проведения детального исследования генерации мм- и субмм-излучения при релаксации РЭП в плазме, представляет собой длинный (2,4 м) многопробочный соленоид с сильным магнитным полем $B_{\text{mean}} = 4$ Тл, в котором удерживается плотная плазма $n_e = (0,2 - 3) \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (см. рис. (4.5.1)). В торец плазменного столба инжектируется пучок релятивистских электронов со следующими параметрами: энергия до 0,8 МэВ, ток пучка ~ 10 кА, длительность ~ 10 нс.

Предыдущие эксперименты показали, что при плотности плазмы $n_e < 0,6 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ эмиссия из плазмы при релаксации в ней сильноточного РЭП сосредоточена в направлении перпендикулярном к оси плазменного столба. Это относится к области частот излучения как в окрестности частоты верхнегибридных плазменных колебаний, так и удвоенного значения этой плазменной частоты. При увеличении плотности плазмы в область значения $n_e = (0,8 - 1,0) \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$, направление эмиссии электромагнитного излучения переключается из перпендикулярного к оси пучково-плазменной системы в область углов в окрестности ее направления.

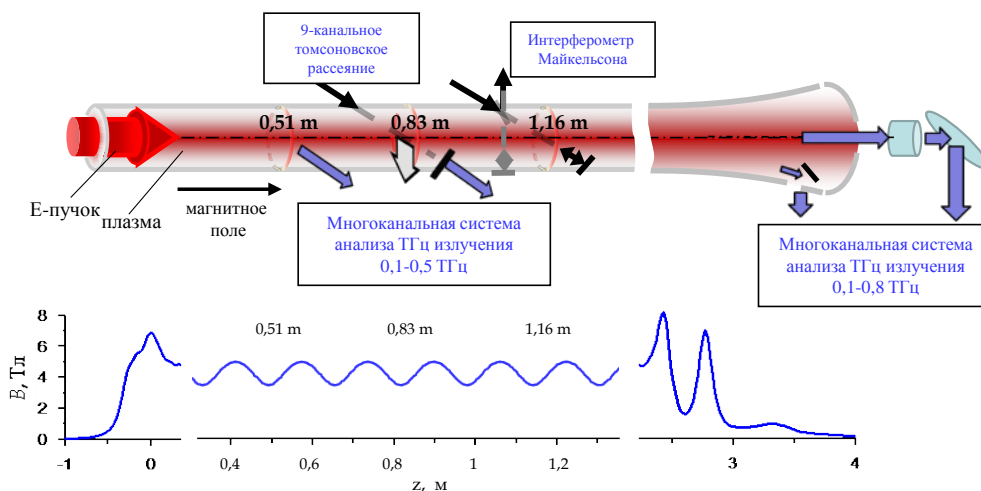


Рис. 4.5.1. Схема экспериментов по генерации субмиллиметрового излучения в системе сильноточный РЭП-плазма.

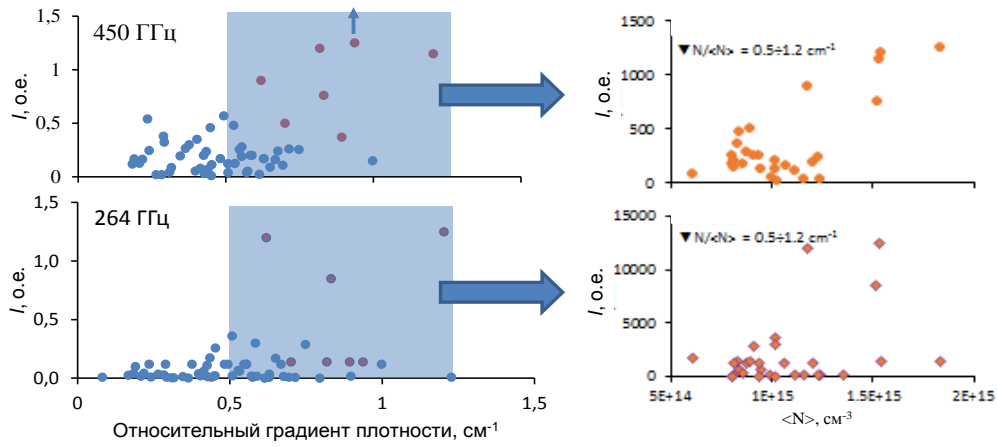


Рис. 4.5.2. Слева: представлена зависимость интенсивности электромагнитного потока вдоль оси установки на выходе из плазменного столба от относительного радиального градиента плотности плазмы (градиент вычислен из измерений распределения плотности плазмы в 8-ми точках по диаметру столба в его сечении на расстоянии 0,83 метра от места входа пучка). Справа: зависимость интенсивности излучения, выходящего вдоль оси установки от плотности плазмы при высоком радиальном градиенте ее плотности.

Кроме того, теоретические исследования данного явления показали, что эффективное преобразование плазменных колебаний в электромагнитные на градиентах плотности плазмы имеет максимум при определенных углах между направлением градиента, волнового вектора плазменной волны и вектором индукции магнитного поля. В связи с этими обстоятельствами, для повышения эффективности генерации в описываемых экспериментах мы применили многопробочную конфигурацию ведущего магнитного поля, а также изменили конфигурацию системы создания плазмы для увеличения радиальных градиентов плотности плазмы. Такая ситуация, хотя и не позволяет по всему объёму задавать необходимую для конверсии плазменных волн конфигурацию эксперимента, но все же дает возможность в среднем по объёму плазмы увеличить выход излучения.

Результат регистрации излучения, выходящего вдоль оси установки при различной плотности плазмы и ее радиальном градиенте, представлен на рис. 4.5.2. Проведенные измерения доказали, что рост относительного градиента плотности в области значений 0,5 – 1,2 cm^{-1} может сопровождаться увеличением мощности потока излучения вдоль оси установки в два – три раза. При этом важно отметить, что рост потока излучения происходит как в области спектра верхнегибридных плазменных колебаний, так и в области удвоенной частоты этих плазменных волн.

Для анализа излучения, выходящего в свободное пространство, использовались несколько абсолютно калиброванных спектрально-селективных систем, см. рис. 4.5.1. Результаты регистрации спектрального состава излучения представлены на рис.4.5.3.

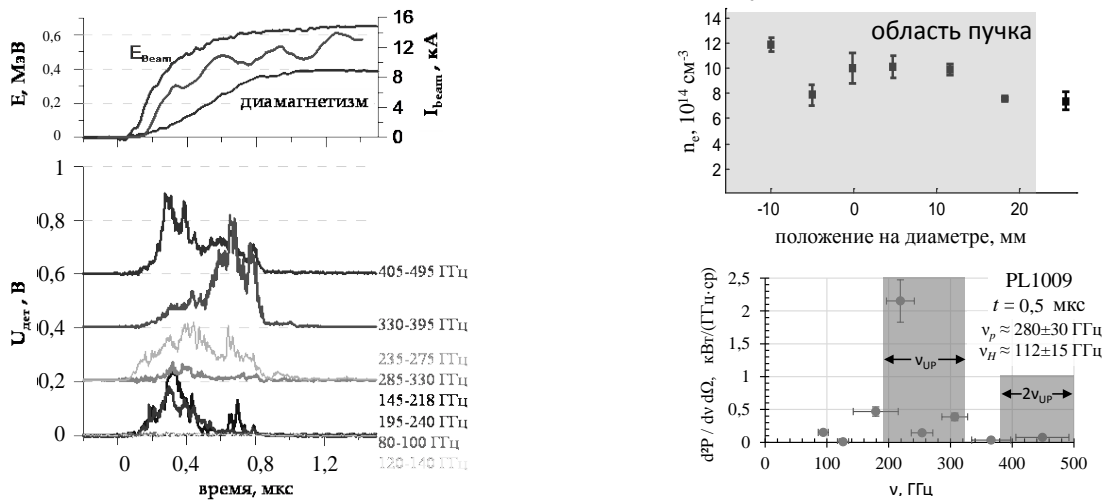


Рис. 4.5.3. Слева: изменение во времени параметров пучка и мощности электромагнитного излучения, выходящего вдоль оси установки на различных частотах в интервале от 150 до 500 ГГц. Справа: радиальное распределение плотности плазмы в поперечном сечении плазменного столба (верх) и спектральная плотность мощности излучения, выходящего из установки вдоль ее оси (низ) в эксперименте № PL1009.

4.5.3. Использование *in situ* методов при исследовании вольфрама тепловым ударом.

В Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН в Новосибирске был разработан испытательный комплекс под названием ВЕТА (Beam of Electrons for material Test Applications) на основе интенсивного импульсного электронного пучка. Комплекс предназначен для экспериментального моделирования воздействия на материалы интенсивных переходных тепловых нагрузок с длительностью и плотностью мощности, аналогичными этим параметрам, ожидаемым в диверторе ИТЭР. Следует отметить, что, несмотря на несколько десятилетий активного экспериментального моделирования эрозии материала стенки, вызванного интенсивными термическими ударами, подробные данные об эволюции поверхности при таких воздействиях и понимание действующих механизмов эрозии все еще остаются недостаточными. Это во многом связано с тем, что в большинстве исследований основное внимание уделяется тщательному анализу облученных образцов уже вне экспериментальной камеры и через большой промежуток времени после воздействия на их поверхность термических ударов. Основной мотивацией для данной работы являлось создание экспериментального комплекса для детального изучения временного развития поверхностной эрозии во время интенсивного импульса нагрева и непосредственно за ним, на стадии остывания образца. Электронный пучок позволяет широко

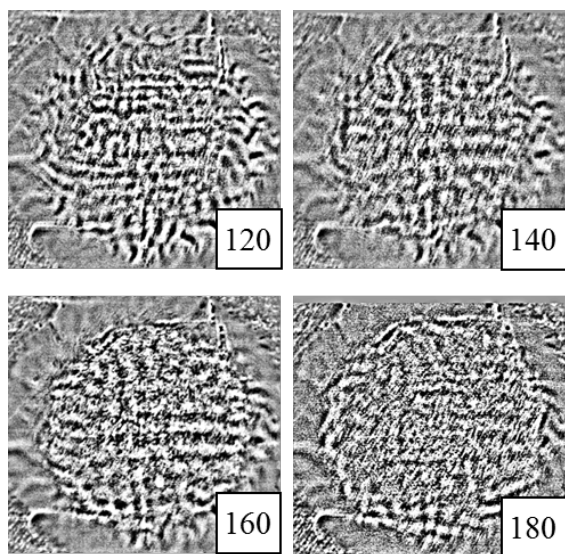


Рис. 4.5.4. Динамика движения слоя расплава вольфрама. Изображения получены в течение одного импульса нагрева длительностью 200 мкс и фильтрованы цифровым пространственным фильтром верхних частот. Указано время начала каждого кадра (в микросекундах) с экспозицией 10 мкс. Каждое изображение покрывает область 14×14 мм на поверхности образца.

варьировать тепловую нагрузку от величины, в несколько раз ниже порога плавления вольфрама, до величины, в шесть раз превышающей ее. Нагреваемая площадь $\sim 1 \text{ см}^2$, что значительно превышает характерные размеры деструктивных процессов, таких как ячейки сети трещин, горячие области и неоднородности расплава. Использование электронного пучка для моделирования теплового воздействия на поверхность материала позволяет применить разнообразную оптическую диагностику для наблюдений *in situ* динамики процессов поверхностной эрозии при интенсивных термических ударах.

Для мониторинга эрозии материала непосредственно во время импульса нагрева и сразу после него установка ВЕТА оснащена набором оптических диагностик. Вакуумная камера комплекса снабжена двумя диагностическими вставками с четырьмя диагностическими портами каждая. Первая вставка расположена в плоскости облучаемой электронным пучком мишени и предназначена для наблюдения абляционного факела, сбоку. Продукты эрозии вольфрама, такие как микрочастицы, также наблюдаются здесь в свете их собственного теплового излучения или путем дифракции на них света непрерывного лазера. Дифракция используется для анализа интенсивности потока микрочастиц вольфрама и наблюдения динамики изменения их характерного размера. Система измерения пыли, включает также быстрые камеры ПЗС и ПЗС с усилителем света. Как правило, мы применяем 1,4-мегапиксельные ПЗС-камеры с минимальной экспозицией 7 мкс и 0,8 мегапиксельные ПЗС с усилителем с минимальной экспозицией 1 мкс. Состав нейтральной составляющей абляционного факела изучался в этом сечении с использованием спектроскопии с пространственным и временным разрешением.

Набор диагностик во втором сечении, расположенном на расстоянии 41 см от мишени ближе к источнику электронного пучка, используется для фронтального наблюдения поверхности образца. Здесь мы используем быструю визуализацию мишени в ближней инфракрасной области спектра и в свете непрерывного лазера на длине волны 532 нм. Эти две диагностики могут работать одновременно, и каждая потенциально в двух режимах, когда-либо несколько кадров (до четырех были использованы в экспериментах) записываются во время одного импульса нагрева и интенсивность света непрерывно измеряется в нескольких выбранных точках нагретой области. Движение слоя расплава при тепловой нагрузке выше порога плавления наблюдалось в течение одного импульса нагрева с использованием четырех независимых ПЗС-камер. Четыре кадра были записаны с экспозицией 10 мкс и частотой кадров 50 кГц с разрешением 1,4 мегапикселей (рис. 4.5.4).

Первые эксперименты показали работоспособность установки ВЕТА и выявили ряд важных особенностей процесса поверхностной эрозии. Неравномерное рас-

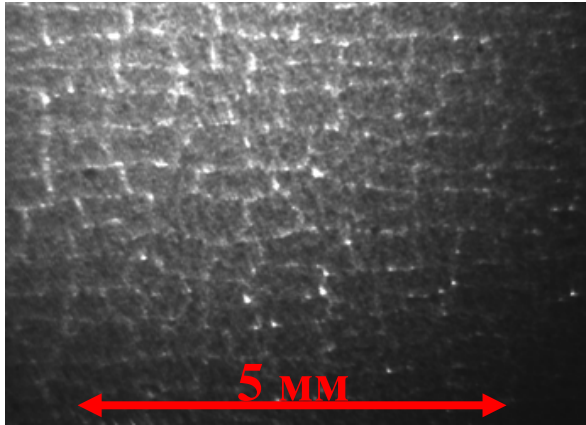


Рис. 4.5.5. Сеть трещин и «горячие точки», хорошо различимы на изображении образца в ближнем ИК диапазоне, полученном во время термического удара. Плотность мощности нагрева приблизительно равномерно распределена по поверхности образца.

пределение температуры по всей поверхности мишени, которая нагревается приблизительно равномерно, наблюдалось во время нагрева и последующих этапов охлаждения. При уровнях нагрева вблизи порога плавления вольфрама после нескольких импульсов нагрева образуется сеть трещин, хорошо видима благодаря усиленному тепловому излучению трещин. Вскоре на пересечениях трещин образуются более горячие точки (рис. 4.5.5), в которых начинается плавление вольфрама, регистрируемое в свете непрерывного лазера. Плавление в таких горячих точках происходит, когда средний уровень нагрева поддерживается ниже порога плавления. Следы плавления в местах, где наблюдались «горячие точки» также видны на фотографиях, полученных на сканирующем электронном микроскопе. Как показывает такой анализ мишени, вынутой из вакуумной камеры, такие горячие области связаны с ухудшением теплового контакта поверхностных частей с основной массой материала. Визуализация с лазерным освещением выявила начало процесса плавления, которое произошло вблизи краев трещин и пересечений трещин

При уровнях нагрева, значительно превышающих порог плавления, наблюдалось резкое увеличение интенсивности образования микрочастиц вольфрама с размерами 5 – 10 мкм, когда было превышено значение параметра нагрева $H_{HF} = 170 \text{ МДж}/(\text{м}^2\text{с}^{-0,5})$ (рис. 4.5.6).

Характерный размер микрочастиц изменяется во времени, когда относительно небольшие ($\sim 2 \text{ мкм}$) частицы сначала регистрируются на расстоянии 2-5 мм от поверхности, а затем более крупные. Время выброса микрочастиц меньше, чем в экспериментах на других объектах, а выброс происходит вблизи конца нагрева. Возможность наблюдать микрочастицы сразу после окончания нагрева позволила нам обнаружить

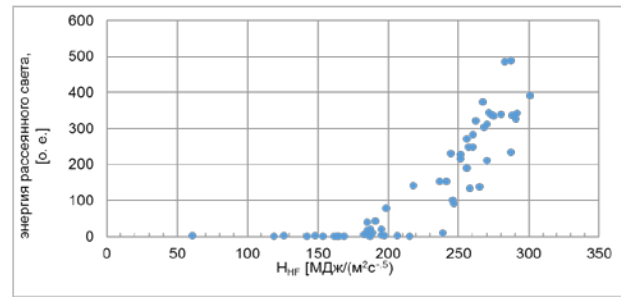


Рис. 4.5.6. Наличие порога по параметру нагрева H_{HF} для интенсивного выброса микрочастиц из расплава вольфрама. Энергия рассеянного света характеризуется интегрированием сигнала рассеяния по его полной длительности.

также быстрые частицы со скоростями на порядок больше, чем было найдено ранее.

4.5.4. Исследования на канале СИ "Плазма".

При импульсной тепловой нагрузке, ожидающейся в термоядерном реакторе с магнитным удержанием, материалы будут разрушаться из-за образующихся механических напряжений. Для разработки диагностики деформаций и механических напряжений в подвергающемся импульсной тепловой нагрузке материале по измерению рентгеновской дифракции была создана станция рассеяния синхротронного излучения «Плазма». Было рассчитано, что при деформации, вызванной импульсным нагревом, происходит поворот кристаллических плоскостей. В результате должны измениться форма и угол рассеяния дифракционного пика. По этому изменению можно восстановить распределение деформаций в материале. На станции «Плазма» была продемонстрирована и измерена динамика формы дифракционного пика.

Станция «Плазма» использует синхротронное излучение из вигглера, расположенного на накопителе ВЭПП-4М. Для импульсного нагрева используется излучение Nd:YAG лазера длительностью около 140 мкс с энергозапасом 30 Дж. Для позиционирования образца были разработаны и сделаны подвижки с тремя поступательными и двумя вращательными степенями свободы. Дифракция наблюдалась при прохождении синхротронного излучения сквозь вольфрамовый образец толщиной 200 мкм. Такая толщина была выбрана для того, чтобы, с одной стороны, за время импульса материал не успел прогреться на всю толщину и, с другой стороны, поглощение синхротронного излучения было минимальным. Для моделирования ситуации в толстом материале образец жёстко закреплялся по периметру. Для увеличения интенсивности рассеянного излучения в качестве образца был взят монокристалл вольфрама. Дифрагированное излучение измерялось однокоординатным детектором DIMEX с шириной каналов 100 мкм, расположенном на расстоянии около 30 см от образца. Схема дифракции изображена на рис. 4.5.7.

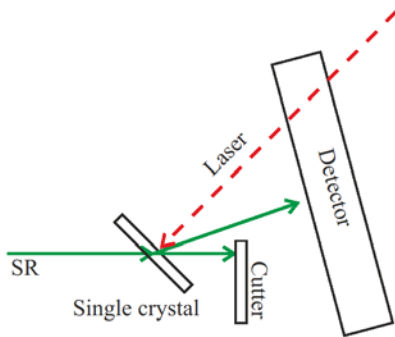


Рис. 4.5.7. Схема эксперимента по измерению динамики дифракционного пика при импульсной тепловой нагрузке.

Измеренная динамика дифракционного пика во время и после импульсного нагрева представлена на рис. 4.5.8. Кроме того, на этом рисунке представлено статическое состояние этого пика до и после импульсного нагрева. Динамику формы дифракционного пика можно разделить на три стадии.

Первая стадия соответствует импульсному нагреву (с 0 мкс до 140 мкс). Во время этой стадии материал прогревается. Холодные слои продолжают рассеивать так же, как и до начала нагрева. Угол рассеяния от нагретых слоев материала увеличивается вместе с температурой. Поэтому правая граница пика смещается в сторону больших углов рассеяния. Из-за уменьшения толщины холодных слоев амплитуда пика в начальном положении уменьшается.

Вторая стадия соответствует выравниванию температуры по толщине образца (с 140 мкс до примерно 240 мкс). Во время этой стадии температура холодных слоев увеличивается, а горячих – уменьшается. В результате ширина дифракционного пика уменьшается.

На третьей стадии образец остывает до комнатной температуры. При этом из-за остывания угол рассеяния уменьшается.

Во время последующих аналогичных импульсных тепловых нагрузок динамика формы дифракционного пика проходит те же стадии. При этом стационарное положение пика смещается в сторону больших углов рассеяния (рис. 4.5.9). Это соответствует увеличению остаточной пластической деформации. Видимо, за время нахождения образца в нагретом состоянии при одном импульсном нагреве пластическая деформация не успевала пройти до конца.

Основным результатом создания и работы станции рассеяния синхротронного излучения “Плазма” является измерение динамики формы дифракционного пика во время импульсной тепловой нагрузки. Динамика формы пика качественно соответствует предсказанному теоретически поведению. Количественный анализ и вычисление распределения деформаций и

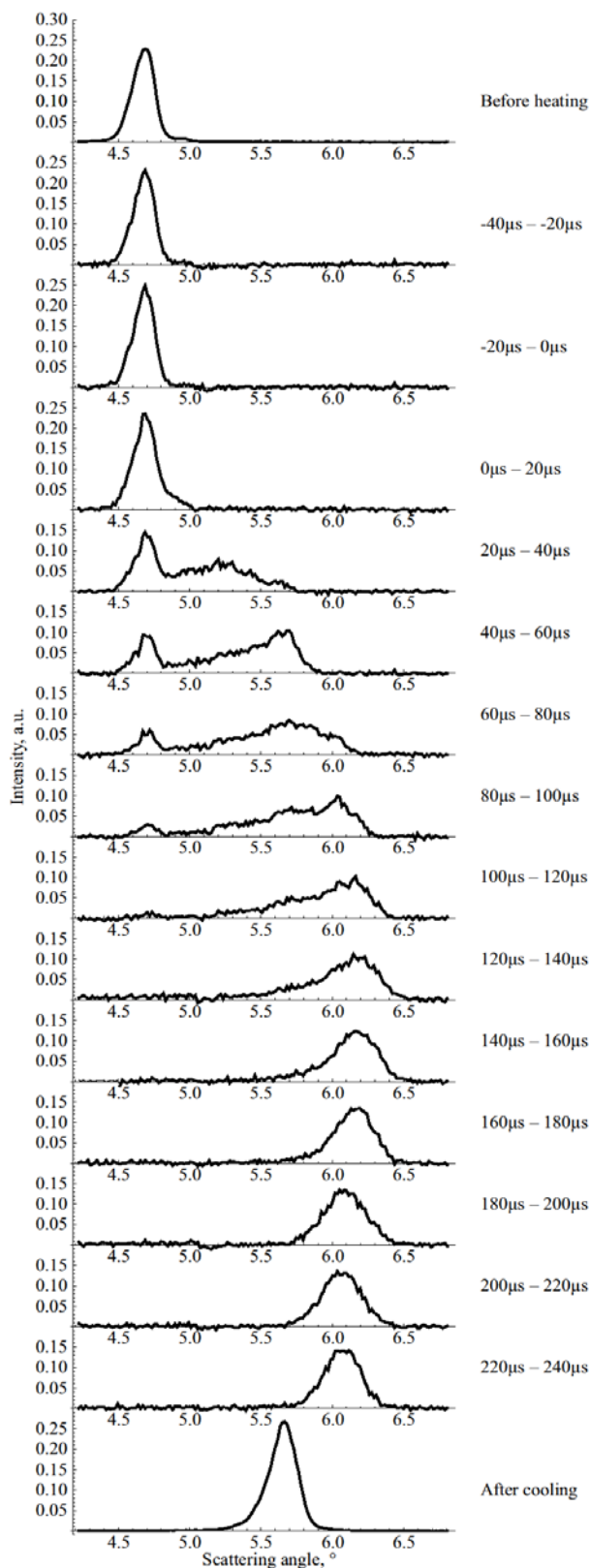


Рис. 4.5.8. Измеренные начальная и конечная форма дифракционного пика и его динамика при импульсном нагреве. Импульсный нагрев начинается в 0 мкс и кончается в 140 мкс.

напряжений по динамике формы дифракционного пика будет проводиться на следующем этапе работы.

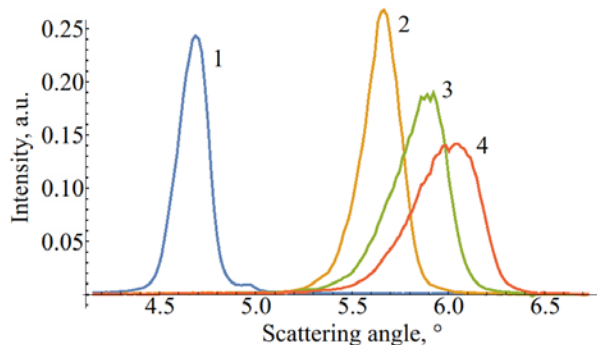


Рис. 4.5.9. Измеренные статические формы дифракционного пика. 1 – до импульсного нагрева, 2 – после первого импульсного нагрева, 3 – после второго, 4 – после третьего.

4.5.5. Экспериментальное исследование физических подходов к увеличению параметров тепловой нагрузки, создаваемой мультимегаваттным электронным пучком на металлической мишени

На экспериментальном стенде ВЕТА в ИЯФ СО РАН в 2017 году продолжались эксперименты по изучению процессов, происходящих на поверхности вольфрамовой мишени при импульсных тепловых нагрузках, ожидаемых в будущих термоядерных установках. Моделирование таких нагрузок (с параметром теплового потока в диапазоне 30 – 200 МДж·м⁻²·с^{-0.5}) на поверхность материала осуществлялось с помощью мультимегаваттного длиноимпульсного электронного пучка, генерируемого в источнике с плазменным катодом.

С целью увеличения параметров тепловой нагрузки, создаваемой электронным пучком на металлической мишени, был предложен экспериментальный подход, основанный на использовании в источнике пучка ускорительного диода нового типа. Вместо применяемого ранее мультиапертурного диода с электродами, представляющими собой плоские металлические «решетки» с большим количеством гексагонально расположенных круглых отверстий, была использована конструкция с катодным электродом, имеющим одно круглое эмиссионное окно диаметром 60 мм затянутое мелкоячеистой тканой металлической сеткой (просвет ячейки 0,35 мм, прозрачность около 50%) и анодом в виде металлической трубы дрейфа диаметром 70 мм (см. рис. 4.5.10).

В экспериментах с новым типом диода были исследованы максимально достижимые параметры электронного пучка при его транспортировке в магнитном поле и проведено сравнение с мультиапертурным диодом. При ускоряющем напряжении до 105 кВ, в экс-

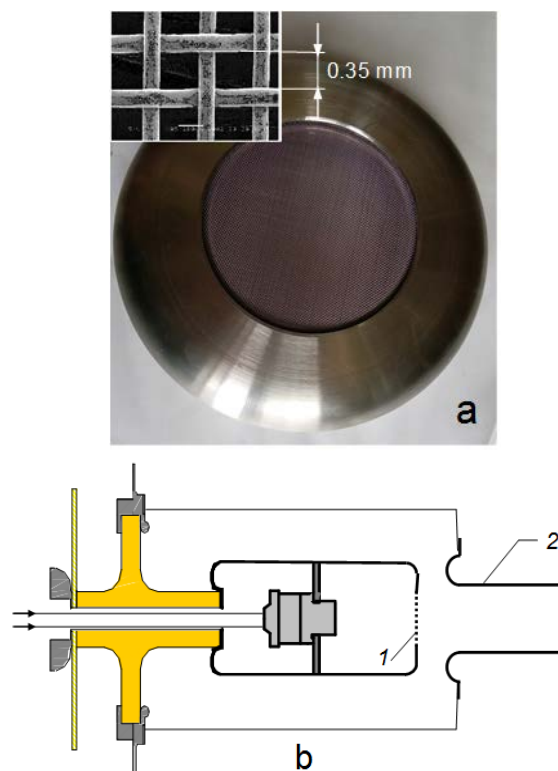


Рис. 4.5.10. а) катодный электрод с мелкоячеистой сеткой; б) схема источника: 1 – катодный электрод, 2 – анодная труба дрейфа.

периментах измерялся ток в ускоряющем зазоре (ток эмиссии) и ток пучка на цилиндр Фарадея (ЦФ), расположенный в торце соленоида установки на расстоянии около 2 м от источника. Типичные осциллограммы пучка в сопоставимых режимах для обоих типов диода показаны на рис. 4.5.11.

Как видно из осциллограмм, в случае многоапертурного диода (рис. 4.5.11а) ток эмиссии и ток ЦФ практически постоянны во времени и совпадают на протяжении почти всего импульса. Прохождение тока на ЦФ при транспортировке в сходящемся магнитном поле с коэффициентом компрессии по потоку $R = 30$ составляет около 95%. Наблюдаемый в конце импульса спад тока ЦФ не означает прекращение прохождения пучка, что проверялось с помощью специального монитора рентгеновского излучения (сцинтиллятор ВГО с ФЭУ), которое возникает при поглощении пучка в ЦФ.

Было установлено, что рентгеновский сигнал по длительности совпадает с импульсом ускоряющего напряжения и не имеет спада, характерного для сигнала тока ЦФ. Можно предположить, что наблюдаемая динамика сигнала связана с наработкой плазмы под воздействием интенсивного электронного пучка и возникновением плазменного шунтирования токоизмерительной цепи. На рис. 4.5.11б показаны осциллограммы для диода с мелкосеточным катодом и трубчатым анодом. В этом случае ток на ЦФ демонстри-

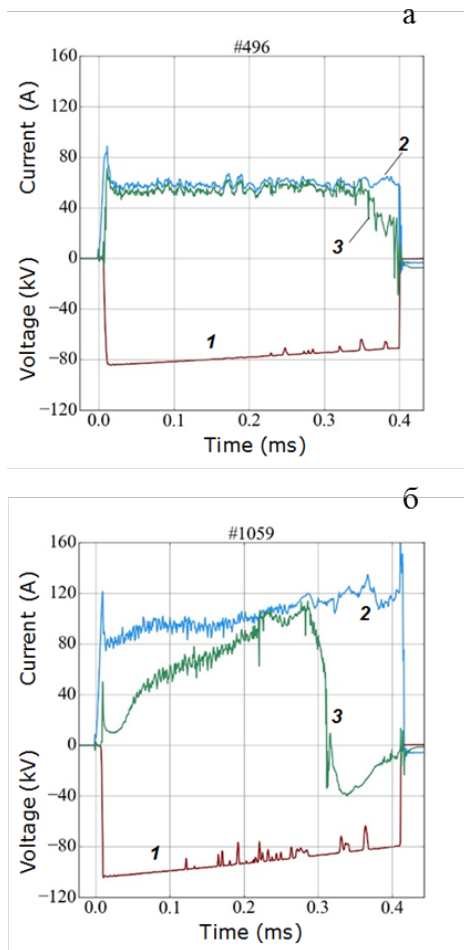


Рис. 4.5.11. Параметры электронного пучка: 1 – ускоряющее напряжение, 2 – ток эмиссии, 3 – ток ЦФ. Пояснения в тексте.

рует более сложную динамику. В начальный период импульса ($\Delta t \approx 0.02$ мс) на ЦФ проходит лишь около 10% от тока диода, а остальной пучок оседает на анодную трубу дрейфа, что подтверждалось прямым измерением тока на анодную трубу и хорошо согласуется с результатами численного моделирования.

Возникающий далее рост тока пучка, проходящего на ЦФ, вместе с сопутствующим уменьшением тока на анодную трубу, связан с формированием в системе так называемого «плазменного анода». Как и на осциллограммах рис. 4.5.11а, резкий спад и переполюсовка осциллограммы тока ЦФ существенно раньше конца импульса напряжения не означают действительное прекращение прохождения пучка. Энергосодержание пучка, определенное по осциллограммам на рисунках 4.5.11а и 4.5.11б как формальный интеграл от произведения тока ЦФ на напряжение по времени до момента спада сигнала тока ЦФ ($t \approx 0,35$ мс и $t \approx 0,28$ мс соответственно) составляет 1,4 кДж и 1,8 кДж. Принимая во внимание, что реально ток пучка на коллектор не прекращается в момент спада осциллограммы тока ЦФ и продолжается вплоть до

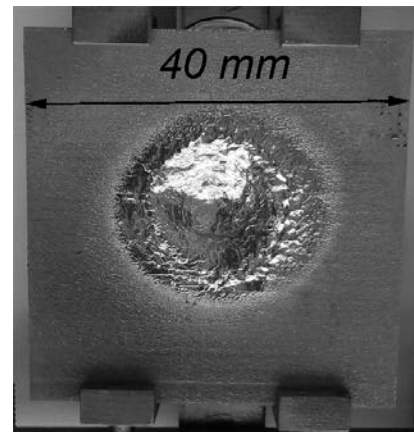


Рис. 4.5.12. Расплавление вольфрамовой мишени при облучении электронным пучком, сгенерированном в новом ускорительном диоде.

конца импульса напряжения, можно оценить реальные величины как 1,6 кДж и 2,9 кДж. То есть в экспериментах с новым типом диода энергосодержание транспортируемого пучка может быть увеличено примерно в 1,8 раза.

Отметим, что при длительности пучка $t \approx 0.15$ мс ток ЦФ мог быть увеличен до 150 А в максимуме, а при уменьшении тока до уровня 40 А длительность пучка составляла величину около 1,2 мс, при этом ток на ЦФ выходил на уровень около 22 А через $t \approx (0,2 - 0,3)$ мс и далее оставался постоянным до конца импульса. Эксперименты воздействию пучком на вольфрамовую мишень также подтверждают возросшее энергосодержание в пучке, судя по наблюдаемой значительно большей интенсивности расплавления (см. рис. 4.5.12) в сравнении с достигнутым для многоапертурного диода.

4.5.6. Статус работ по проекту ГОЛ-NB.

В настоящее время в ИЯФ им. Будкера СО РАН создается многопробочная ловушка нового поколения ГОЛ-NB – см. рис. 4.5.13. Основной научной задачей ГОЛ-NB является прямая демонстрация подавления продольных потерь частиц и энергии из ловушки при помощи секций с многопробочным магнитным полем, присоединяемых к центральной ловушке газодинамического типа. Нагрев плазмы в ГОЛ-NB будет проводиться методом нейтральной инжекции с мощностью до 1,5 МВт.

Магнитная система установки ГОЛ-NB в полном варианте включает в себя магнитную систему центральной ловушки, две секции сильного поля и две магнитные системы концевых расширителей см. рис. 4.5.14. Центральная ловушка должна обеспечивать захват нейтральных пучков и удержания плазмы, она является основным новым элементом. магнитная индукция в центре ловушки должна составлять 0,6 Тл в

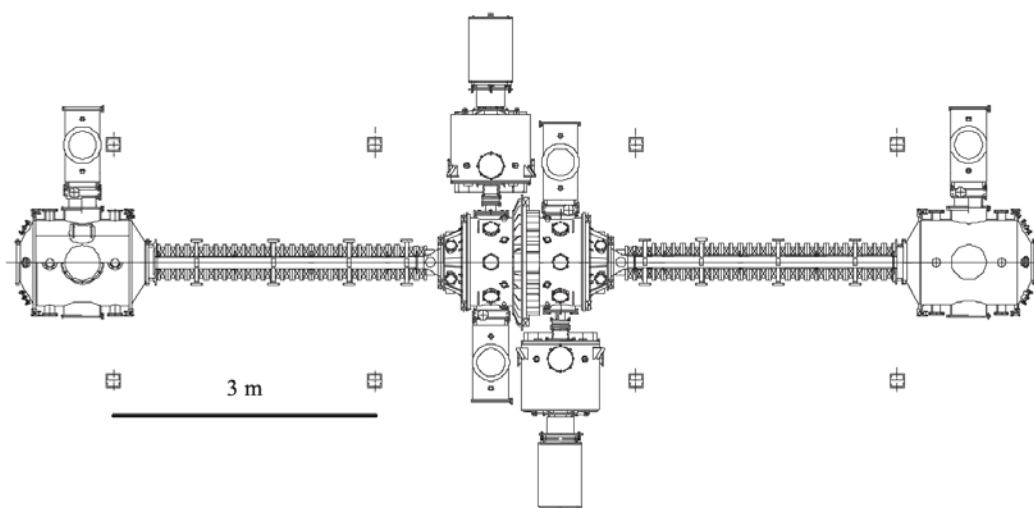


Рис. 4.5.13. Схема установки ГОЛ-NB в полной проектной конфигурации, вид сверху. Установка состоит из центральной ловушки, к которой присоединено два инжектора нейтральных пучков, двух многопробочных соленоидов и двух баков расширителей магнитного потока, в одном из которых расположен дуговой источник плазмы, а в другом – плазмодириектор. Показаны также четыре модуля системы вакуумной откачки. Для масштаба показано расстояние между несущими колоннами.

режиме I и 0,3 Тл в режиме II. Секции сильного поля должны работать в режиме либо простых соленоидов длиной около 3 м, либо в режиме многопробочных секций с пробочным отношением 1,5 и длиной гофрировки 22 см. В каждом из этих режимов максимальная магнитная индукция должна быть не менее 4,5 Тл. В качестве таких секций будут использоваться части существующей магнитной системы установки ГОЛ-3. Концевые расширители являются относительно простыми элементами, формирующими постепенно спадающее магнитное поле после секций сильного поля.

Магнитная система центральной ловушки является симметричной относительно центральной плоскости, она состоит из пяти отдельных катушек трех различных габаритов. В качестве технического условия стояло требование использовать существующие емкостные накопители установки ГОЛ-3 для питания этих катушек, имеющие секционированное устройство с емкостью одной секции 15 мФ при рабочем напряже-

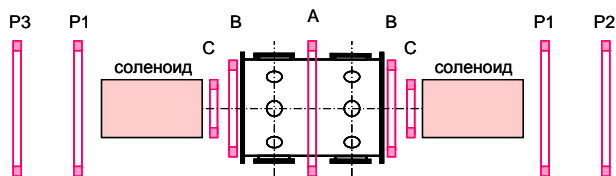


Рис. 4.5.14. Схема магнитной системы установки ГОЛ-NB: А – центральная катушка, В – промежуточные катушки, С – крайние катушки центральной ловушки, P1, P2 и P3 – катушки расширителей (отличаются рабочими токами), соленоид – существующие секции сильного поля (по 28 катушек ГОЛ-3, показаны условно).

нии до 5 кВ. Анализ показал, что из-за сильно различающихся индуктивностей катушек это возможно сделать, если модернизировать систему управления емкостным накопителем так, чтобы можно было индивидуально регулировать момент запуска цепи питания каждой катушки. Эта работа была проведена.

Численное моделирование электрических процессов в цепях питания катушек делалось в программе NLS, которая позволяет учитывать взаимоиנדукции катушек. Схема моделировалась с учетом паразитных элементов электрических цепей, которые определялись из сравнения осциллограмм тока с катушек сильного поля установки ГОЛ-3 с расчетными значениями этих же величин. При этом для всех катушек центральной ловушки потребовалось использовать параллельное подключение двух или трех секций емкостного накопителя.

Основным средством для нагрева плазмы на установке ГОЛ-NB являются два инжектора нейтральных пучков, обладающие следующими проектными параметрами: энергия пучков до 25 кэВ, эквивалентный ток в каждом пучке до 30 А, мощность в каждом пучке до 0,75 МВт, длительность импульса – регулируемая до 5 мс. В 2017 году работы по созданию инжекторов и систем питания были полностью завершены, все оборудование смонтировано, системы силового питания отлажены. Начаты технологические включения инжекторов при работе на заглущку с целью постепенной тренировки высоковольтных узлов и доведения параметров пучков до проектных. На рис. 4.5.15 показаны типичные осциллограммы напряжения на ускоряющем промежутке и тока пучка для двух инжекторов при работе в отладочном режиме. Продолжается дальнейшая оптимизация начальных

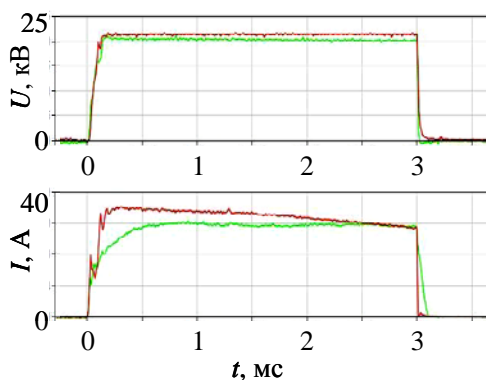


Рис. 4.5.15. Осциллограммы ускоряющего напряжения (вверху) и тока пучка (внизу) в отладочном режиме включения инжекторов. Разные линии относятся к разным инжекторам.

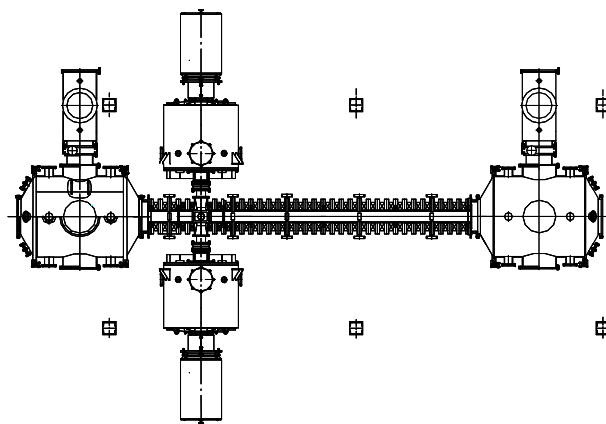


Рис. 4.5.16. Схема магнитовакуумной системы первой очереди установки ГОЛ-NB с двумя инжекторами нейтральных пучков, вид сверху.

условий и сценария включения инжекторов для достижения наивысших параметров.

В настоящее время для монтажа оборудования ГОЛ-NB доступна только часть экспериментальной площадки длиной около 6,5 м. На этой площади была собрана первая очередь установки по схеме, приведенной на рис. 4.5.16. Конфигурация включает в себя оба бака концевых расширителей, одну секцию сильного поля полной длины и одну – укороченную, а также временную компактную камеру для подключения инжекторов нейтральных пучков. Фотография установки в данной конфигурации приведена на рис. 4.5.17. Начаты работы по изучению транспортировки плазменной струи через секцию с многопробочным магнитным полем, на настоящем этапе проводившиеся с временным источником стартовой плазмы.

4.5.7. Заключение по результатам ГОЛ-3.

В 2017 году на электрофизических установках комплекса ГОЛ-3 продолжались эксперименты, связанные с развитием физики и технологий, необходимых для разработки проекта открытой ловушки следующего поколения с термоядерными параметрами плазмы и ряда других приложений.

Продолжаются работы по сооружению многопробочной ловушки ГОЛ-NB, предназначенной для изучения квазистационарного удержания плазмы в ловушке с многопробочными концевыми секциями. Ведётся создание и экспериментальная отработка необходимых систем и технологий.



Рис. 4.5.17. Фотография первой очереди установки ГОЛ-NB.

4.6. РАБОТЫ НА УСТАНОВКЕ ЭЛМИ

4.6.1. Введение.

Одной из возможностей продвижения лазеров и мазеров на свободных электронах в терагерцовую область частот генерируемого излучения является использование интенсивной электромагнитной волны для накачки таких устройств. Основным преимуществом такого подхода, по сравнению с традиционным использованием ондуляторного магнитного поля, является существенное укорочение пространственного периода колебаний. По этой причине даже при умеренном релятивизме электронов пучка ($\gamma \sim 3$) излучение с характерной частотой ~ 100 ГГц преобразуется в терагерцовое излучение при рассеянии на электронном пучке. В настоящее время в ИЯФ СО РАН на установке «ЭЛМИ» создается мощный двухстадийный генератор ТГц-излучения, в схеме которого заложено использование электромагнитного ондулятора для накачки ТГц-излучения (см. рис. 4.6.1). На первом этапе планируется осуществить следующий сценарий экспериментов. В низкочастотной (НЧ-) секции генератора первый ленточный электронный пучок с параметрами: 1 МэВ, 1 кА, 5 мкс, осуществляет накачку мощного 4-мм излучения в комбинированном планарном резонаторе с распределенной обратной связью в условиях ондуляторного магнитного поля с периодом 4 см. В подобной низкочастотной секции как в одноканальном, так и в двухканальном вариантах нами ранее в экспериментах были получены импульсы 4-мм излучения с мощностью 30 – 50 МВт и длительностью до 200 нс.

Далее генерируемое в НЧ-секции мм-излучение направляется с помощью волнового дефлектора в ВЧ-секцию генератора, где оно рассеивается на втором ленточном пучке с преобразованием частоты в ТГц-диапазон. Перед тем как произвести рассеяние, пла-

нируется осуществить преобразование H_{10} -волны 4-мм излучения в квазистоячую волну с большой амплитудой, сформированную планарным брэгговским преобразователем волн с одним или двумя сдвоями фаз. В соответствии с преобразованием Доплера для случая поперечного рассеяния волны на пучке частота такого излучения будет лежать в диапазоне 0,8 – 1,5 ТГц. В качестве развития исследований планируется реализация электромагнитной накачки в схеме с внутррезонаторным рассеянием, когда и НЧ- и ВЧ-секции генератора представляют собой единый резонатор для низкочастотного 4-мм излучения. В этом случае рассеяние волны на пучке будет осуществляться при их встречном движении, что сдвигает частоту рассеянного излучения в диапазон 2 – 3 ТГц.

4.6.2. Электромагнитный ондулятор на основе брэгговского преобразователя волны.

Для увеличения эффективности взаимодействия электронного пучка с мм-волной нами разработан и создан преобразователь бегущей волны в квазистоячую, который размещен в ВЧ-секции двухстадийного ТГц-генератора. Такое устройство должно быть, с одной стороны, совместимо с системой транспортировки высокопоточного ленточного электронного пучка, а с другой – оно должно существенно повышать величину амплитуды мм-волны. Удовлетворяющей этим требованиям является конструкция преобразователя в виде двух параллельных проводящих пластин, образующих канал транспортировки ленточного электронного пучка. На поверхности этих пластин нанесена мелкая гофрировка в виде периодических (период 4 мм) параллельных друг другу прямоугольных канавок, имеющая один или несколько сдво-ев фазы гофрировки на π по своей длине.

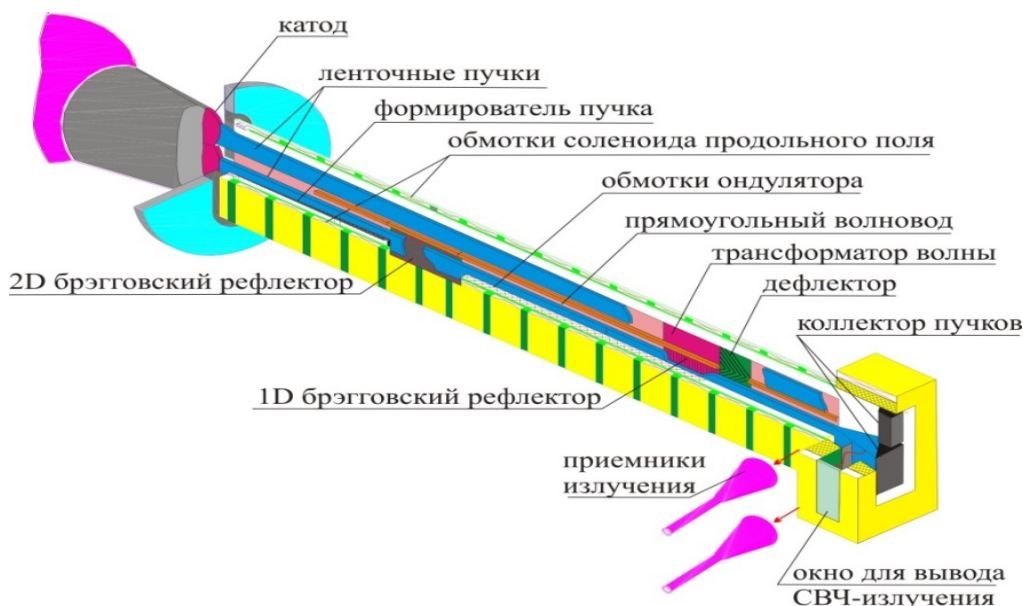


Рис. 4.6.1. Схема двухстадийного генератора терагерцового излучения

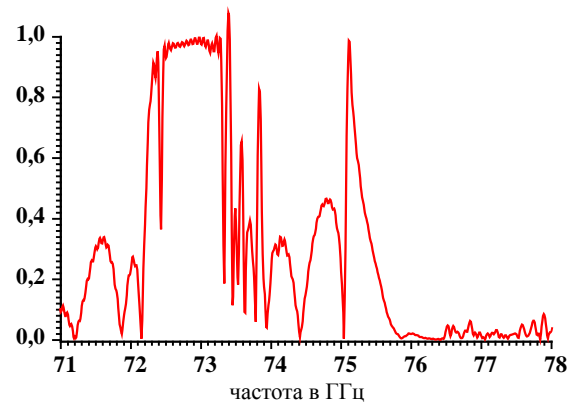


Рис. 4.6.2. Фотография пластин брэгговского преобразователя волны

На Рис. 4.6.2 представлены фотографии двух изготовленных пластин преобразователя с параметрами: размеры области нарезки 196x100 мм, период нарезки - 4 мм, глубина гофрировки - 140 мкм. Эти пластины располагаются в ВЧ-секции генератора гофрировкой в сторону пучка и имеют зазор - 6 мм. На Рис. 4.6.3 представлена частотная зависимость коэффициента отражения H_{10} - волны такого преобразователя, а также распределение амплитуды поля квазистоячей волны вдоль пути пучка внутри преобразователя. Как видно из рисунка, коэффициент увеличения амплитуды квазистоячей волны по отношению к амплитуде бегущей волны достигает в максимуме ~ 10 при характерной длине области с большой величиной электрического поля волны - 50 мм. Полоса частот преобразователя, в которой происходит существенное усиление амплитуды волны, составляет $75 \div 75,2$ ГГц.

В настоящее время нами разработан и изготавливается преобразователь с двумя сбоями фазы, коэффициентом усиления поля около 20 и длиной области усиленного поля около 100 мм.

а)



б)

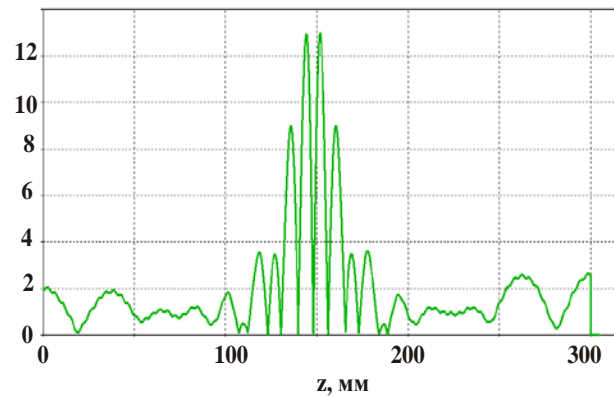


Рис. 4.6.3. Параметры брэгговского преобразователя: *a* – коэффициент отражения преобразователя для волны H_{10} , *б* – амплитуда электрического поля волны вдоль преобразователя на частоте 75,05 ГГц .

4.7. РАБОТЫ НА ЛОВУШКЕ С ГЕЛИКОИДАЛЬНЫМ ПОЛЕМ СМОЛА

4.7.1. Введение.

Для улучшения энергетического времени жизни плазмы и повышения термоядерной эффективности открытых ловушек следующего поколения была предложена концепция подавления продольных потерь из открытой ловушки газодинамического типа винтовыми пробками с управляемым вращением плазмы. Теоретически предсказана экспоненциальная зависимость эффективности подавления потерь от длины участка с винтовым полем, приводящая к существенному повышению эффективного пробочного отношения в открытой ловушке.

В настоящий момент в ИЯФ СО РАН вводится в эксплуатацию экспериментальная установка СМОЛА (Рис. 4.7.1), предназначенная для проверки концепции винтового удержания. Основной частью установки является уединённая «винтовая пробка» длиной 216 см, содержащая 12 периодов винтового поля. Соотношение винтовой и продольной компонент магнитного поля в винтовой секции может быть произвольно изменено. Вращение плазмы задаётся за счёт создания контролируемого профиля радиального электрического поля. Система создания радиального электрического поля схожа с системой вихревого удержания плазмы в ГДЛ и может быть также использована для стабилизации плазменного шнура. Плазма запирается между указанной «уединённой пробкой» и источником плазмы, расположенном в локальном максимуме поля. Эффективность предложенной концепции может быть определена по изменению параметров плазмы вдоль винтовой секции в различных режимах магнитного и электрического поля. В проект заложены следующие параметры плазмы: плотность $n_i \sim 10^{19} \text{ м}^{-3}$, температура $T_i = 10 - 100 \text{ эВ}$, ведущее магнитное поле в винтовой секции $B_{\text{max}} = 0,1 - 0,3 \text{ Тл}$, радиальное электрическое поле до $E_r \sim 100 \text{ В/см}$, радиус плазмы $r \sim 5 \text{ см}$, период

винтового поля 18 см, средняя по сечению глубина перепада магнитного поля вдоль силовой линии $R_{\text{mean}} = 1,5 - 2$, длительность разряда $\tau = 0,1 \text{ с}$. Указанный диапазон экспериментальных параметров достаточен для подтверждения эффективности удержания и позволяет масштабировать винтовые секции для установок большего масштаба.

4.7.2. Физический запуск установки СМОЛА.

Был произведён физический запуск первой в мире линейной плазменной ловушки с геликоидальным многопробочным удержанием — установки СМОЛА; струя водородной плазмы проведена на полную длину установки (Рис. 4.7.2).

Завершено изготовление и монтаж полной конфигурации вакуумной системы установки, включая вакуумную камеру с диагностическими портами для исследования потока плазмы в заданной конфигурации магнитного поля, выполненную единым блоком с обмотками винтовой компоненты магнитного поля.

Завершена сборка стартовой конфигурации магнитной системы установки, позволяющая создать продольную компоненту магнитного поля до 0,05 Тл с однородностью на уровне 20% и независимо изменяемую винтовую компоненту магнитного поля до 0,1 Тл. Указанные параметры позволяют создать плазменную струю полной длины и провести первичные эксперименты по управлению течением плазмы в винтовом магнитном поле. Элементы магнитной системы, обеспечивающие создание продольного магнитного поля до 0,3 Тл с однородностью на уровне 1% находятся в производстве. Их изготовление и монтаж, запланированные на 2018 год, обеспечат расширение доступной области экспериментальных параметров.

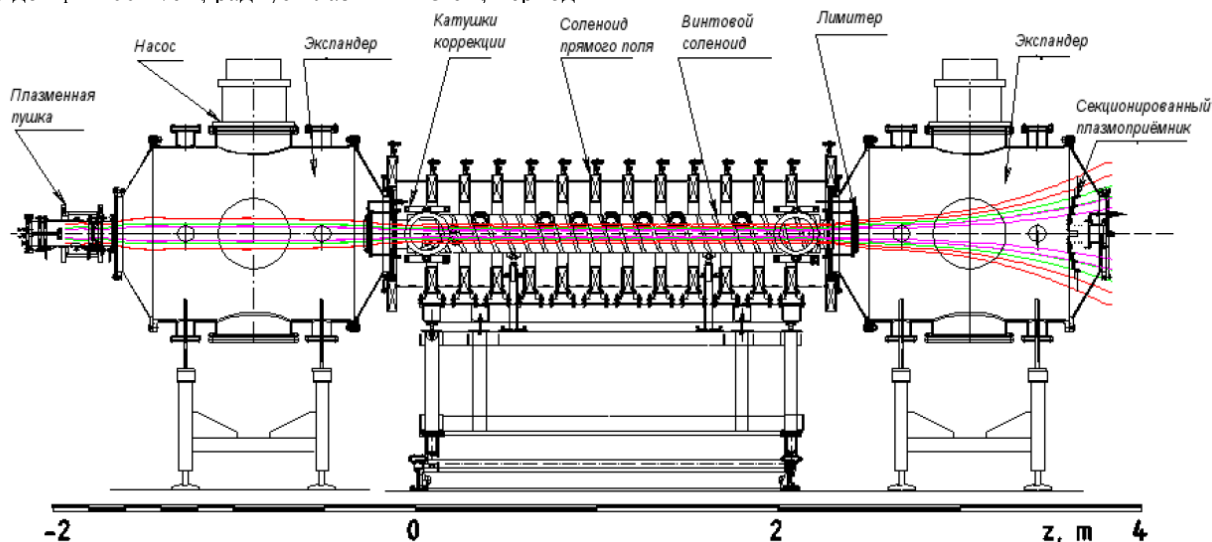


Рис. 4.7.1. Схема установки СМОЛА.

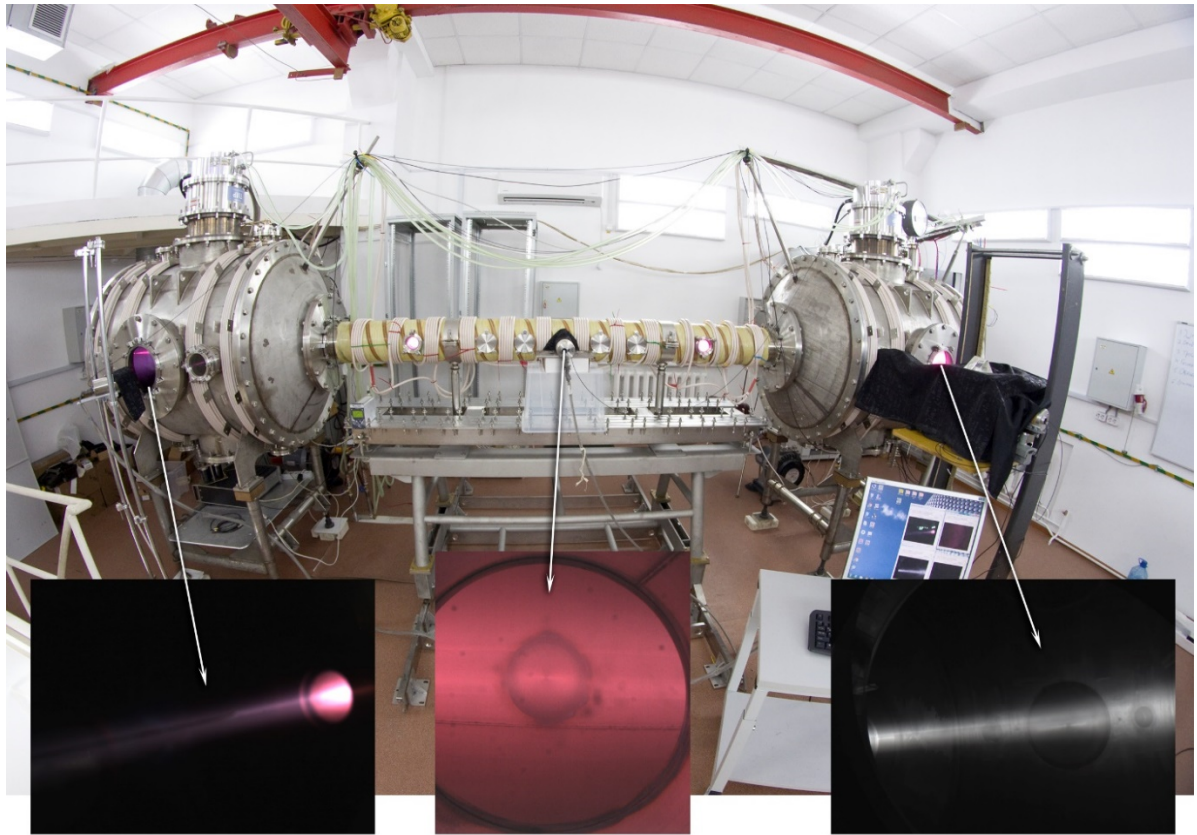


Рис. 4.7.2. Распространение плазменной струи в разных точках установки СМДИА

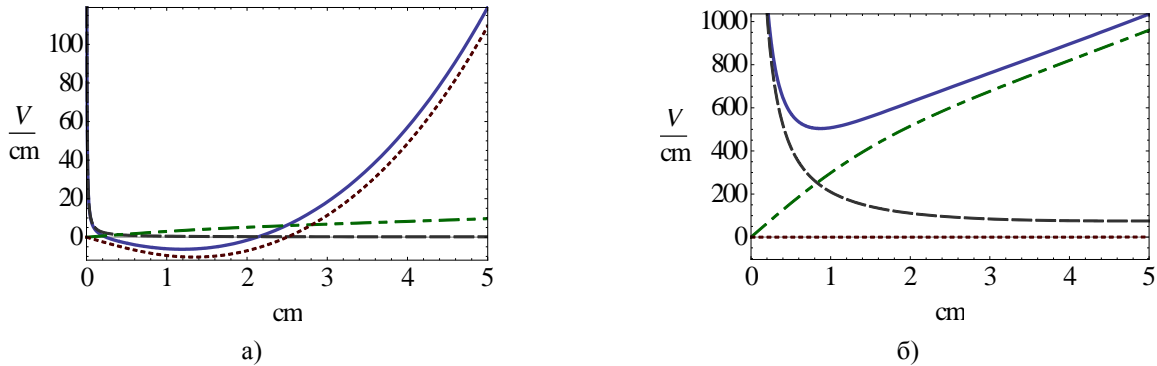


Рис. 4.7.3. Профили радиального электрического поля для оптимального подавления продольного потока плазмы винтовыми пробками. а) $V = 0,1$ Тл, $T_e = 10$ эВ. б) $V = 4$ Тл, $T_e = 1000$ эВ.

Создан стартовый набор зондовых, оптических и спектроскопических диагностик, обеспечивающий измерение критически важных для проверки концепции винтового удержания параметров плазмы: плотности, потенциала и скорости вращения. Зондовые диагностики обеспечивают измерение плотности плазмы в рабочих режимах в диапазоне $1 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19} \text{ м}^{-3}$.

Для диагностики направленной скорости плазмы, величина которой может быть оценена по скорости дрейфа в скрещенных полях как $(1 - 10) \times 10^6 \text{ см/с}$, создана диагностика доплеровского смещения спектральных линий. При испытании прототипа спектральной системы было продемонстрировано разрешение $3 \times 10^5 \text{ см/с}$. Также создан набор технологических диагностик, предназначенных для паспортизации режима

работы установки, в частности измерители токов и напряжений в элементах магнитной системы, токов и напряжений на электродах плазменной пушки, мощности косвенного накала катода плазменной пушки.

Изготовлены основные детали секционированного плазмодриёмника и внешних лимитеров, предназначенные для создания в плазме контролируемого профиля потенциала. Рассчитан оптимальный радиальный профиль электрического поля, необходимого для винтового удержания (Рис. 4.7.3).

Начаты эксперименты по физической программе работ в соответствии с разработанным ранее планом стартовых экспериментов. На первом этапе к моменту написания отчёта выполнено 740 экспериментов, направленных на определение входных параметров плазменной; показана достижимость параметров плазмы, требуемых для первых этапов экспериментов по винтовому удержанию; определены оптимальные режимы работы источника плазмы. Показана достижимость параметров плотности и скорости вращения плазмы, требуемых для экспериментов по винтовому удержанию; определены оптимальные режимы работы источника плазмы. Корректировок физической программы по результатам анализа первых экспериментов не требуется.

4.7.3. Заключение

В 2017 году был произведён физический запуск линейной плазменной ловушки с геликоидальным многопробочным удержанием — установки СМОЛА. Начаты эксперименты, связанные с физическим запуском установки, отработкой режимов работы источника плазмы, магнитной системы и ключевых диагностик и непосредственной проверкой концепции улучшенного удержания. Ключевым результатом данной серии будет являться качественная проверка наличия эффекта удержания. Дальнейшие эксперименты предполагают получение базовых экспериментальных скейлингов, применимых к большим открытым ловушкам.

5

УСТАНОВКИ СО ВСТРЕЧНЫМИ
ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫМИ
ПУЧКАМИ

5.1. РАБОТА КОМПЛЕКСА ВЭПП-2000 В 2017 ГОДУ

В 2017 году после трёхлетней модернизации цепи инжекции началась регулярная работа коллайдера ВЭПП-2000 в штатном режиме круглых встречных пучков с набором данных двумя детекторами СНД и КМД-3. Основные усилия были сосредоточены на настройке комплекса для достижения максимальной светимости во всём рабочем диапазоне энергий.

5.1.1. Набор интеграла светимости в диапазоне энергий 150–1000 МэВ.

Настройка регулярной работы с двумя пучками.

Выход на режим регулярной работы на светимость с использованием новой цепи инжекции потребовал модернизации ряда управляющих программ и создания новых программных средств. Так, переключение между режимами перепуска электронного или позитронного пучка по каналу К-500 приводит к разным температурным режимам работы импульсных магнитов подъёма из тоннеля в зал БЭП (магниты 6М9-12) из-за различной частоты перепусков. Для стабилизации прохождения пучка в магниты рядом с вакуумной камерой были установлены индукционные измерительные петли, проинтегрированный сигнал с которых с высокой точностью (лучше 10^{-4}) показывает амплитуду магнитного поля. Была написана программа, автоматически стабилизирующая поле, а значит и траекторию пучка, по сигналу с измерительной петли.

Сезон 2016–2017 был посвящён работе на высокой энергии (эксперимент HIGH2017): сперва в диапазоне от 850 МэВ до 1003,5 МэВ в пучке, далее спуск по энергии до 640 МэВ. В результате модернизации инжекционной цепи стала возможна инжекция в коллайдер на энергии эксперимента. Однако для этого, помимо ускорения в бустерном кольце, были заменены источники питания типа «Аккорд» ряда импульсных магнитных элементов на более мощные.

Для инжекции в кольцо на энергии около 1 ГэВ также был задействован дополнительный инфлектор: при модернизации в вакуумных камерах дипольных магнитов были установлены дополнительные пластины. При этом не потребовалось создавать новых генераторов: для инжекции, например, позитронов, используется генератор электронного инфлектора, с помощью коммутатора переключаемый на дополнительную пластину.

В результате всего комплекса работ по настройке и отладке инжекционная цепь вышла на стабильную работу. Темп накопления позитронов в БЭП осенью 2017 года (после замены катода на ИК) в рутинном режиме составил 1 мА/с, или $5 \cdot 10^8$ e⁺/с, что в 25 раз превосходит темп старого инжектора на основе ИЛУ/Б-3М. На Рис. 5.1.1 представлен скриншот статусной страницы комплекса с графиками токов в кольце ВЭПП-2000 (вверху) и БЭП (внизу). «Простои»

в накоплении пучка в БЭП связаны с ограничением допустимого тока в ВЭПП-2000 из-за эффектов встречи типа «flip-flop».

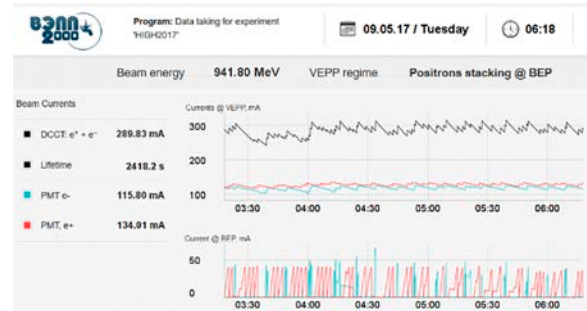


Рис. 5.1.1. Графики токов в кольцах бустера БЭП (внизу) и ВЭПП-2000 (вверху) при регулярной работе на энергии 940 МэВ.

Замена 4 квадрупольных линз (F1) для обеспечения лучшего качества поля и прецизионной юстировки.

Семейство квадрупольных линз (1F1, 2F1, 3F1, 4F1), относительно слабых и коротких (длина по железу 60 мм), располагается в тесном пространстве между соленоидами финального фокуса и дипольными магнитами. Принятое решение заменить эти линзы преследовало следующие цели:

1. увеличение вписанного диаметра (до 50 мм), что позволит свободно производить их выставку;
2. оборудование линз геознаками, прецизионно привязанными к магнитной оси, это также необходимо для юстировки;
3. усиление градиента за счёт водоохлаждаемых обмоток и мощных источников питания ВЧ-300 (300 А, 8 В). Это позволит работать в «технических» режимах ВЭПП-2000 при выключенных соленоидах, когда линзы заметно сильнее штатных значений, при любых энергиях вплоть до 1 ГэВ;
4. повысить качество поля примерно на порядок. Хотя линзы относительно слабые, они расположены в области, где бета-функции близки к максимальным значениям, а влияние мультипольных гармоник на динамику частиц входит с весом бета-функции в соответствующей степени. Новые линзы выполнены с гиперболическим профилем полюсов и подобранными шимами и торцевыми фасками для подавления высших мультипольных гармоник.

Линзы были сконструированы и изготовлены в Экспериментальном Производстве ИЯФ (Рис. 5.1.2).

Были произведены магнитные измерения линз на стенде Института с помощью вращающегося вала. На Рис. 5.1.3 показана зависимость градиента от питающего тока по результатам расчётов и измерений. Заметное расхождение, имеющееся даже в линейной области, объясняется неточной калибровкой измерителя

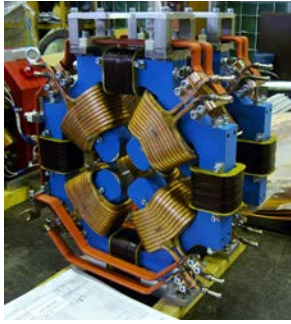


Рис. 5.1.2. Новая линза F1 на выходе из производства.

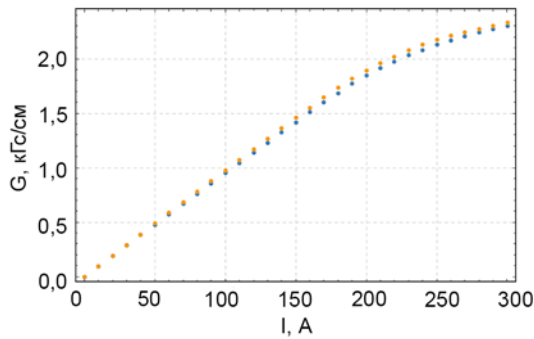


Рис. 5.1.3. Кривая насыщения квадруполь (синие точки — измерения, жёлтые — расчёт).

тока. На Рис. 5.1.4 представлена зависимость относительного отклонения магнитного поля от идеальной линейной зависимости $\Delta B/B$ как функция поперечных координат. Окружность с радиусом 2 см соответствует физической апертуре. Линии уровня проведены с шагом 10^{-3} . Достигнутое качество поля примерно на порядок превосходит качество первоначальных линз. Различия между линзами семейства во всём рабочем диапазоне токов питания не превосходит 10^{-3} .

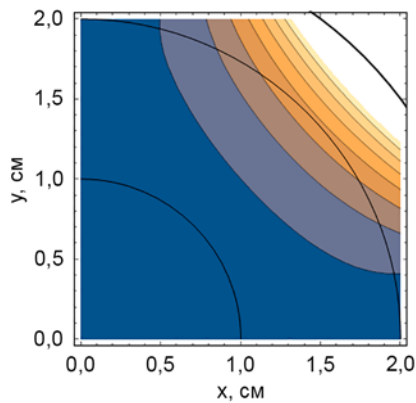


Рис. 5.1.4. Относительный вклад высших мультипольных гармоник, линии уровня проходят через 10^{-3} .

Выведение комплекса в режим максимальной светимости.

Достижение высокой светимости, помимо достаточного темпа производства и инъекции электронов и позитронов, требует тщательной и продолжительной

настройки машины. Помимо минимизации нелинейных полей, сопровождающих дипольные поля корректоров, настройка включает в себя комплекс рутинных процедур: правка орбиты, правка линейной оптики, настройка хроматизма, компенсация бетатронной связи в арках. Правка оптики производится с помощью SVD-разложения и анализа матрицы откликов (МО). Использование в матрице «перекрёстных» откликов и дисперсионной функции позволяет также корректировать бетатронную связь.

Физическая программа ВЭПП-2000 предполагает набор данных в очень широком диапазоне энергий. Большинство запланированных экспериментов представляют собой сканирование по энергии. В области высокой энергии ~ 1 ГэВ многие магнитные элементы работают в режиме сильной насыщения, поэтому перестройка кольца с одной энергии на другую не сводится к линейному пересчёту токов, даже если «шаг» по энергии невелик. В 2017 году была разработана программа для пересчёта магнитной системы при сканировании по энергии, учитывающая кривые насыщения для каждого элемента. Это позволяет существенно сократить время, необходимое для настройки рабочих режимов.

Также нами изучался эффект нарушения симметрии оптики кольца, связанный с наличием продольного магнитного поля в одном из детекторов — КМД-3. Для компенсации этого поля используются «компенсирующие» катушки (2S3, 3S3) двух соленоидов финального фокуса, включённые в одинаковую полярность (противоположную полю КМД-3) по обе стороны от детектора. В то же время основные катушки соленоидов (2S1+2S2, 3S1+3S2) включены в противоположную друг другу полярность, чтобы обеспечить фокусировку в месте встречи, но не вращать плоскость бетатронных колебаний (т. н. режим «плоской» оптики). В результате по разные стороны КМД-3 в блоке соленоидов основные и компенсирующие катушки включены в одну или в разные полярности. Распределение поля для двух вариантов представлены на Рис. 5.1.5 двумя кривыми.

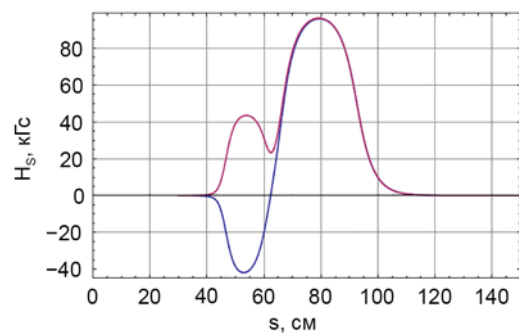


Рис. 5.1.5. Распределение продольного поля соленоидов вдоль оси.

Однако, фокусировка пропорциональна интегралу квадрата продольного поля. Из-за наложения полей компенсирующей и основной катушек распределение квадрата поля (Рис. 5.1.6) будет различаться, разница

в интеграле при одинаковых токах питания составляет 2,5 %. Для компенсации этого эффекта был рассчитан и введён разбаланс токов катушек 2S3, 3S3 на уровне ± 15 А.

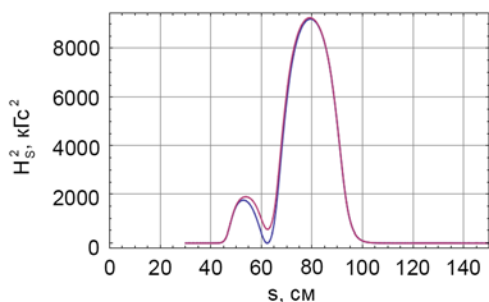


Рис. 5.1.6. Распределение квадрата продольного поля соленоида вдоль оси.

При работе по набору данных в 2017 году в области высоких энергий достигнутая светимость была от 2 до 7 раз выше, чем до модернизации комплекса (оранжевые точки на Рис. 5.1.7). Это объясняется подключением к новому производительному инжектору, ускорением пучков в бустере до энергии эксперимента, и, что не менее важно, более аккуратной настройкой коллайдера.

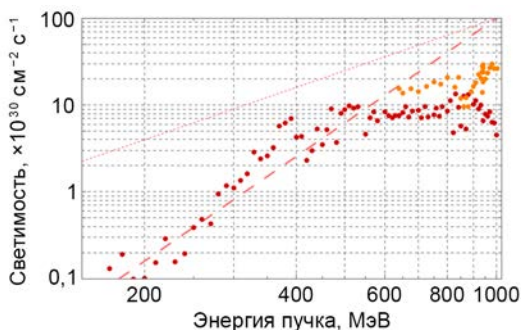


Рис. 5.1.7. Светимость по данным КМД-3, усреднённая по 10 % лучших заходов. Красные точки — 2010–2013 годы, оранжевые точки — 2017 год.

Начало набора интеграла светимости в области высокой энергии.

После модернизации и периода запуска и настройки устойчивой работы с ИК на ВЭПП-2000 продолжился набор интеграла светимости. Первый сезон был посвящен работе на высокой энергии. На Рис. 5.1.8 показана динамика набора детектором КМД-3 интеграла светимости в сравнении с предыдущими годами. После модернизации светимость установки существенно выросла, вырос темп набора данных, рекордный набранный суточный интеграл светимости превысил 1200 нб^{-1} . Полный интеграл светимости, набранный за сезон 2016–2017 составил более 53 пб^{-1} на каждый из детекторов, что превышает суммарный интеграл данных, набранный когда-либо на всех коллайдерах мира в этой области энергий.

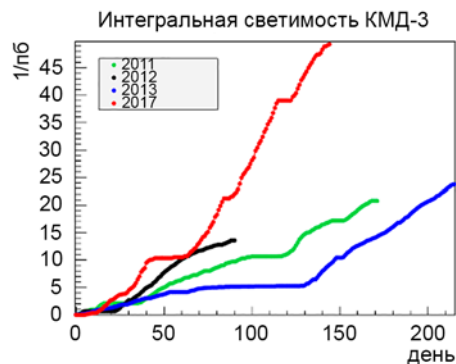


Рис. 5.1.8. Набор интегральной светимости детектором КМД-3 по годам.

На Рис. 5.1.9 показано распределение набранных данных детектором КМД-3 в зависимости от энергии. Значительная часть данных в прошедшем сезоне была набрана в районе порога рождения нуклонов, а также на энергии 1003,5 МэВ — чуть выше максимальной проектной энергии накопителя, эта энергия соответствует массе D^{0*} -мезона.

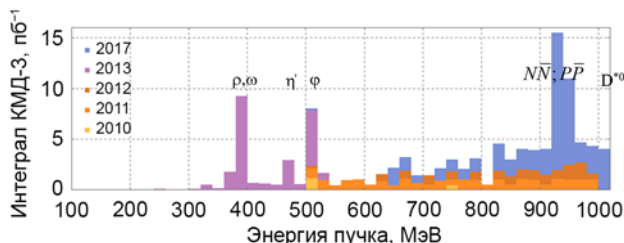


Рис. 5.1.9. Распределение по энергии набранного детектором КМД-3 интеграла светимости за разные годы.

Разработка прототипа нового генератора наносекундных импульсов для инфлекторов БЭП.

В 2016 году заработал новый источник частиц для комплекса ВЭПП-2000. Длина поставляемого сгустка составляет 5 нс. В то же время период оборота бустера БЭП — 70 нс. В качестве питания кикера инжекции в настоящее время применяется источник на двойной формирующей линии, собранной из высокочастотных керамических конденсаторов КВИ-3. Источник питания позволяет формировать импульсы до 25 кВ, с длительностью по основанию порядка 150 нс, что не позволяет применять для инжекции схему с однократным ударом-предударом пучка. Применение такой схемы источника питания подразумевает использование в конструкции высоковольтных ключей на вдвое больший ток, чем ток кикера. При формировании импульсов меньше по длительности, чем два периода обращения пучка, средний ток схемы уменьшается, что позволяет использовать менее мощные и более высоковольтные ключи для увеличения энергии частиц для инжекции/экстракции в/из кольца БЭП, а также применять схему однократного удара. Уменьшение длительности импульса питания возможно при укорочении длины формирующей линии, что сказывается на

форме импульса, т. к. квазипрямоугольный импульс тока за время пролета пучка через кикер будет изменяться сильнее, что скажется на стабильности ударяемого пучка.

Альтернативный метод формирования коротких высоковольтных импульсов заключается в накоплении и быстром обрыве тока, запасенного в индуктивности по схеме компрессии тока с конечным выделением энергии на согласованной нагрузке. Такой тип источника питания несколько лет эксплуатируется на коллайдере ВЭПП-2000 с амплитудой импульса до 70 кВ и длительностью менее 50 нс по основанию. Для кольца БЭП необходим импульс питания длительностью от 30 до 100 нс по основанию, причем стабильность вершины импульса за время пролета пучка — не хуже 5 %. Амплитуда должна иметь возможность регулирования от 10 до 30 кВ. Схема с обрывом тока и формированием квазипрямоугольного импульса тока в линии задержки, согласованной с нагрузкой для того, чтобы избежать отраженных колебаний, позволяет получать импульсы длительностью равные двойному времени пробега волны в линии задержки. В качестве первичных накопителей энергии применяются высоковольтные керамические конденсаторы, изготовленные на опытном производстве.

5.1.2. Развитие средств диагностики пучков.

Исследование возможностей восстановления оптических функций в канале К-500 по анализу матриц откликов.

Анализ МО успешно используется для восстановления и правки структурных функций колец-накопителей, в т. ч. ВЭПП-2000. Одним из ключей к использованию этого метода является прецизионное (1–10 мкм) измерение искажения орбиты датчиками положения пучка (ДПП) в ответ на вариацию корректора (собственно, «отклика»). Этот же метод принципиально может быть использован и в канале транспортировки, однако точность измерения положения пучка тут несравнимо хуже, во-первых, из-за нестабильности прохождения пучка по каналу, но в основном вследствие однократности измерения, в то время как в накопителе измерение положения орбиты может быть усреднением по большому числу оборотов.

В 2017 году проводились исследования применимости метода анализа МО на примере канала К-500. На Рис. 5.1.10 отрисовано прохождение пучка двадцати последовательных перепусков («выстрелов») по каналу. Видно, что велика нестабильность начальных условий выпущенного пучка, поскольку отклонения на датчиках происходят коррелированно.

Этот коррелированный «шум» легко убрать, если «пожертвовать» первым датчиком, измерения с которого будут использоваться для поправки на вариацию начальной координаты пучка. Оставшийся разброс составляет ~0,2 мм, и имеет случайный характер.

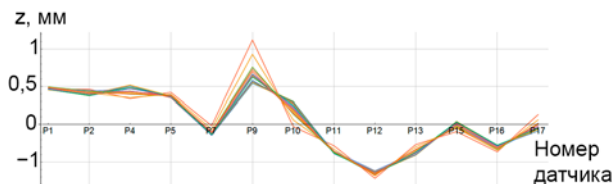


Рис. 5.1.10. Измерения ДПП вертикальной координаты последовательных 20 «выстрелов».

Следующий тест — линейность отклика относительно силы корректора. Для малых отклонений на большинстве датчиков отклик линеен, однако для надёжных измерений отклика при низкой точности измерений необходимо создавать отклонения траектории с большой амплитудой. На Рис. 5.1.11 приведены измерения ДПП в ответ на вариацию корректора 6kz12. Хорошо видно, что отклик сильно нелинеен. Это может быть связано с а) выходом пучка за пределы калиброванной области измерений датчика; б) обрезанием пучка апертурными ограничениями; в) нелинейностями электронной оптики.

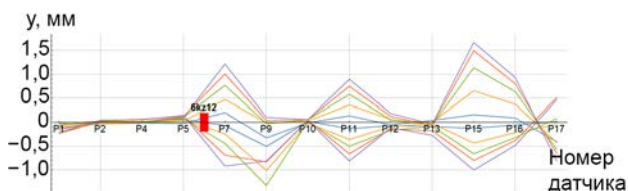


Рис. 5.1.11. Проверка линейности отклика.

После предварительных тестов для определения параметров набора матрицы откликов, был проведён тестовый анализ экспериментально измеренной МО и подгонка под неё модельной оптики. На Рис. 5.1.12 можно видеть пример модельных откликов (синие линии), наилучшим образом описывающие измеренные (красные точки с «усами»). В целом, можно сделать вывод, что для эффективного использования метода анализа МО требуется повышать точность измерений координаты пучка.



Рис. 5.1.12. Подгонка модельных откликов под измеренные для корректора 6КХ6.

Разработка и производство новых пикап-станций на БЭП.

В рамках модернизации накопительного кольца БЭП на комплексе ВЭПП-2000 в 2013–2015 годах

было принято решение о частичной модернизации системы диагностики и измерения параметров пучка. В середине 2016 года в кольце БЭП были установлены 2 новых электростатических датчика положения пучка (пикап). После первых месяцев после запуска было выявлено, что дальнейшая эксплуатация данной электроники не является целесообразной ввиду: а) устаревшей элементной базы и сложности ремонта; б) устаревшей архитектуры, где аналоговый тракт усиления + полосовой фильтрации и непосредственно АЦП значительно (более 10–20 м) разнесены друг от друга; в) требования к быстродействию системы; г) постепенного вывода из эксплуатации устройств в стандарте КА-МАК. Поэтому в 2016 году было принято решение о разработке прототипа комплекта электроники на современной элементной базе, отвечающей современным требованиям, которая способна устранить указанные недостатки.

В конце 2016 года были начаты испытания прототипа, настройка аналоговой части электроники (фильтрация, согласование, схема калибровки), а также формирование требований к цифровой обработке данных в FPGA процессоре. Предложен и реализован оригинальный механизм синхронной калибровки, когда измеряемый и калибровочный сигнал смешиваются и детектируются одновременно, а разделение происходит за счет различных частотных характеристик сигналов. В первом квартале 2017 года стендовые испытания прототипа были завершены, проведена большая часть измерений основных параметров, написан прототип программного обеспечения для визуализации и обработки данных. В конце 2017 года готовые блоки были собраны, настроены, проверены и переданы в эксплуатацию на комплекс ВЭПП-2000.

В течение декабря 2017 года проводилось внедрение электроники в систему управления комплекса ВЭПП-2000, адаптация ПО, прокладка кабельных трасс и, наконец, первая работа с пучком. Были проведены предварительные измерения разрешающей способности, достигаемых точностей, динамического диапазона электроники при работе с пучком.

В первом квартале 2018 года планируем завершение интеграции обновленной электроники и проведение экспериментов по измерению характеристик накопителя БЭП.

Калибровка системы измерения энергии по обратному Комптоновскому рассеянию с помощью метода резонансной деполяризации на разных уровнях энергии.

ВЭПП-2000 оборудован системой прецизионного измерения энергии на основе обратного комптоновского рассеяния (ОКР). Калибровка энергии методом резонансной деполяризации (РД), к сожалению, оказалась невозможна в штатном режиме круглых встречных пучков. Однако, для проверки измерений ОКР возможно произвести одновременные измерения с методом РД в специальном техническом «тёплом» режиме с выключенными соленоидами финального фо-

куса, и выведенном поле детектора КМД-3. Ранее такие тесты проводились в области относительно низких энергий (450–500 МэВ, Рис. 5.1.13) с предварительной поляризацией пучка в БЭП.

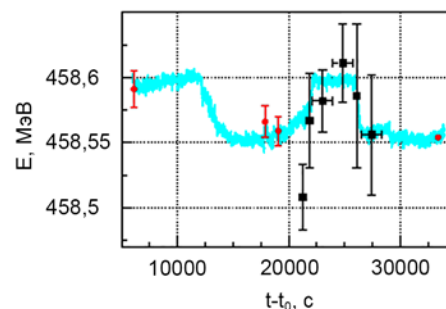


Рис. 5.1.13. Измерения энергии методами ОКР (чёрные точки), резонансной деполяризации (красные) и контроль по ЯМР (голубые) в режиме «тёплой» оптики.

Однако, данный «тёплый» режим был неприменим на высокой энергии, во-первых, из-за ограничения по силе F1-линз (после переделки линз это препятствие было устранено), а во-вторых, из-за большой величины коэффициента расширения орбит α_p , что вкуче с ограниченным напряжением ВЧ-резонатора даёт слишком малую ширину сепаратрисы устойчивого синхротронного движения. В то же время для прецизионного измерения зависимости сечений в области порога рождения нуклонных пар (938 МэВ в пучке) остаётся актуальной задача проверки калибровки метода ОКР. В 2017 году был разработан новый технический режим оптики ВЭПП-2000 без соленоидов, но с меньшей величиной $\alpha_p = 0,1$ (Рис. 5.1.14).

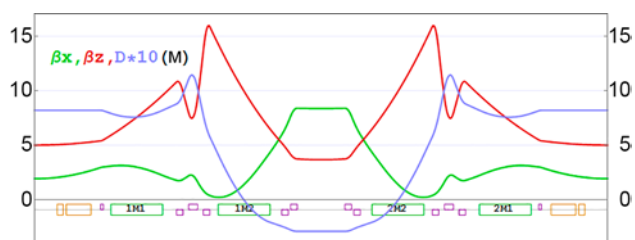


Рис. 5.1.14. Структурные функции половины кольца ВЭПП-2000 в новом техническом «тёплом» режиме.

К сожалению, поперечный размер пучка в этом режиме на такой энергии слишком велик, и время жизни определяется механической апертурой, что ставит под угрозу возможность регистрации скачка в счёте частиц, рассеянных из-за эффекта Тушека. Тем не менее, новый режим был реализован, пучок был захвачен, орбита и оптика выправлены, получено приемлемое для поляризации время жизни при работе на резонансе свежи, с круглым пучком. Было проведено несколько поляризационных заходов, однако скачка в скорости счёта тушековским поляриметром при деполяризации обнаружить пока не удалось. Работы по калибровке энергии методом РД будут продолжены на других

уровнях энергии, например, ниже энергии основного спинового резонанса 880 МэВ.

5.1.3. Изучение эффектов встречи круглых пучков.

Моделирование эффектов встречи, наблюдаемых на ВЭПП-2000.

Основная задача состоит в том, чтобы смоделировать эффекты встречи с учётом нелинейной структуры накопителя. Для этого структура ВЭПП-2000 в формате RING транслируется в формат MAD-X, где все элементы разбиваются продольно на тонкие слайсы (процедура Makethin), и дальше специальным конвертором переводится в формат программы моделирования Lifetrac. Для оперативной правки оптики был создан редактор, который работает со структурой в этом формате.

На первом этапе эффекты встречи были выключены и тестировалась только структура в программе Lifetrac. В частности, проверялось действие различных «ручек»: сдвиг бетатронных частот и бета-функций в месте встречи (IP), «закрутка» соленоидами (раскомпенсация), и т. п. Проверялась зависимость ДА от бета-функций в IP, результаты представлены на Рисунках 5.1.15 и 5.1.16. На рисунках положение цветных точек соответствует начальным нормализованным амплитудам, а цвет — разбросу бетатронных частот вдоль траектории. Граница закрашенной области соответствует динамической апертуре.

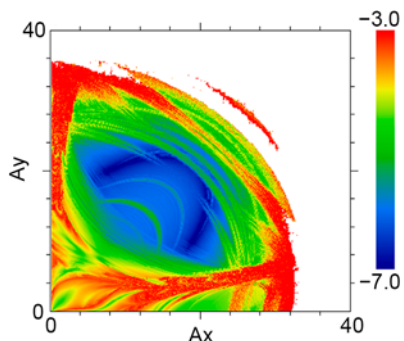


Рис. 5.1.15. FMA для $\beta^* = 7$ см, синхротронная амплитуда — 3σ .

Как видно, уменьшение β^* приводит к уменьшению ДА и к увеличению нелинейной связи. Это выражается в том, что начальное состояние частицы с сильно неравными бетатронными амплитудами переходит в состояние с примерно равными амплитудами — ближе к диагонали (эффект усиливается с ростом синхротронной амплитуды). Поскольку все амплитуды нормализованные, линейная связь не приводит к такому эффекту.

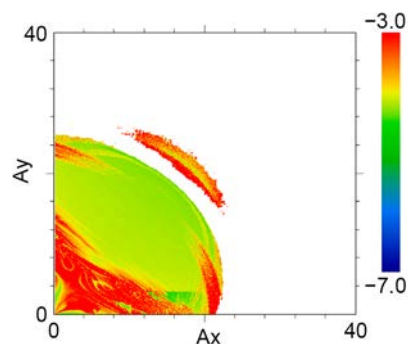


Рис. 5.1.16. FMA для $\beta^* = 4$ см.

На следующем этапе были добавлены эффекты встречи. На Рисунках 5.1.17 и 5.1.18 показан пример футпринта в плоскости бетатронных частот, хорошо видны резонансы. «Хвост», уходящий влево-вниз от рабочей точки, соответствует амплитудам больше 10σ , и создаётся нелинейными элементами структуры. Верхняя (каплевидная) часть футпринта создаётся встречным пучком.

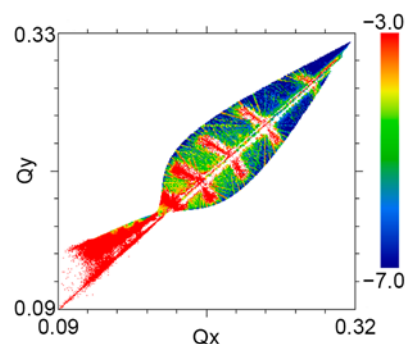


Рис. 5.1.17. FMA с эффектами встречи для $\beta^* = 6$ см. Синхротронная амплитуда 0σ .

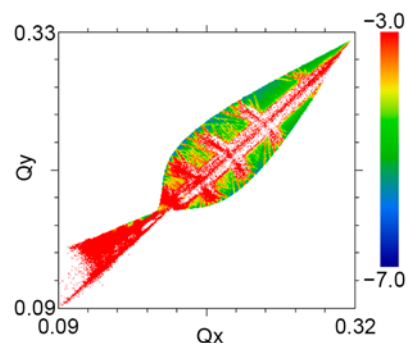


Рис. 5.1.18. FMA с эффектами встречи для $\beta^* = 6$ см. Синхротронная амплитуда 1σ .

Основная проблема при работе ВЭПП-2000 на светимость связана с эффектом «flip-flop», который можно воспроизвести в квази-сильно-сильной модели. В настоящее время Lifetrac умеет работать в такой модели только с плоскими пучками и одним местом встречи. Для работы с круглыми пучками и двумя (не идентичными) IP требуется апгрейд программы. Работа в этом направлении ведётся, но ещё не закончена.

Исследование возможности перемещения рабочей точки ближе к целочисленному резонансу.

Моделирование эффектов встречи предсказывает повышение предельной интенсивности встречных пучков при малой отстройке рабочей точки от целого резонанса. Проектная рабочая точка $\nu = 0,1$, однако наилучшие режимы работы до сих пор достигались при дробной части бетатронных частот равной 0,14 или 0,17. Снижение частоты, к сожалению, приводит к сокращению динамической апертуры, что затрудняет инжекцию с накоплением пучка. В рабочем режиме встречных пучков светимость ограничена эффектом «flip-flop», для которого пороговый ток пучка очень остро зависит от положения рабочей точки относительно резонансной сетки, причём влияют резонансы очень высокого порядка. Было предпринято несколько сканирований по бетатронной частоте в области от 0,1 до 0,18. При хорошо настроенной оптике, оптимизированной величине бета-функции в месте встречи β^* , подобранных параметрах инжекции работа в точке вблизи 0,1 возможна, но предельный ток оказался ниже, чем в «стандартной» точке 0,14.

Получение максимальной пиковой светимости на энергии 1 ГэВ, ограниченной только эффектами встречи.

После модернизации комплекса светимость ВЭПП-2000 в области высокой энергии перестала ограничиваться дефицитом позитронов. Первый сезон работы 2016–2017 показал существенное повышение светимости. Максимальная достигнутая пиковая светимость составила $4 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. На Рис. 5.1.19 представлен график светимости ВЭПП-2000, зарегистрированной детектором КМД-3 в течение ночной смены, при работе на энергии 980 МэВ. Это рекордная светимость в данной области энергии, однако она всё ещё вдвое ниже проектного значения. Дальнейшее увеличение токов пучков и соответственно светимости ограничено эффектом «flip-flop», при котором происходит резкое падение удельной светимости и времени жизни встречных пучков. Этот «сильно-сильный» эффект имеет пороговый характер и резко зависит от большого числа тонких настроек машины. Это позволяет рассчитывать на повышение светимости при дальнейшей работе по набору данных на высокой энергии в сезоне 2018–2019.

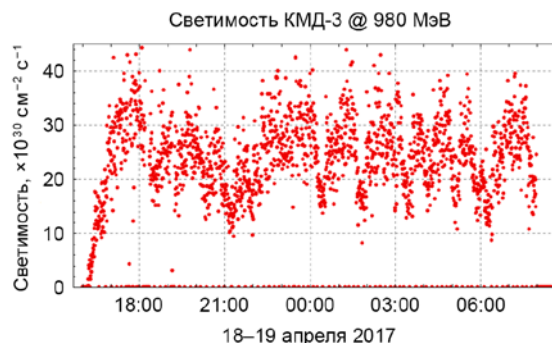


Рис. 5.1.19. Светимость ВЭПП-2000 на энергии 980 МэВ в пучке.

5.2. УСКОРИТЕЛЬНЫЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТР

«Ускорительный масс-спектрометр ИЯФ СО РАН» (УМС) – единственная в России установка по проведению сверхчувствительных анализов методом ускорительной масс-спектрометрии. Метод УМС основан на «извлечении» из исследуемого образца отдельных атомов с последующим подсчетом интересующих изотопов и предназначен для проведения исследований в геологии, археологии, биологии, медицине, химии, физике, экологии, климатологии, океанологии, фармакологии и других областях науки.

УМС ИЯФ СО РАН основывается на 1МВ электростатическом тандемном ускорителе с поворотом пучка с зарядом 3+ в высоковольтном терминале. При этом выделяется чистый пучок радиоуглерода. Молекулярный фон подавляется разбиением молекул при прохождении через мишень на парах магния с последующей селекцией электромагнитными фильтрами. Окончательная идентификация и поштучная регистрация ионов осуществляется времяпролетным телескопом. Требуемая для УМС-анализа масса углеродного образца: 1-10 миллиграмма. Чувствительность: 10^{-15} ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$). Статистическая точность радиоуглеродного анализа: не хуже 1% (при времени анализа – 5 часов на 20 современных образцов).

В 2017 году совместно с 25 организациями-пользователями было проведено 52 научно-исследовательские работы с использованием УМС ИЯФ СО РАН: проведен УМС-анализ более 1000 графитизированных образцов. Работы связаны с исследованием объектов из археологических памятников, природных отложений, экспонатов музеев с целью получения новых знаний по приоритетным направлениям развития науки. Кроме того, проводились биомедицинские исследования с регистрацией методом УМС незначительного количества меченой аэрозоли проникающей в органы

лабораторных мышей, что невозможно другими методами.

Для повышения эффективности использования уникальной научной установки, с конца 2017 года, организациям, заинтересованным в проведении совместных с ИЯФ научно-исследовательских работ с использованием УНУ «УМС ИЯФ СО РАН», предоставляется возможность подачи заявки на сайте ИЯФСО-РАН: <http://press.inp.nsk.su/nauka/issledovatel'skaya-infrastruktura/nauchnye-ustanovki/uskoritelnyj-mass-spektrometr/sdelat-zayavku-ams>.

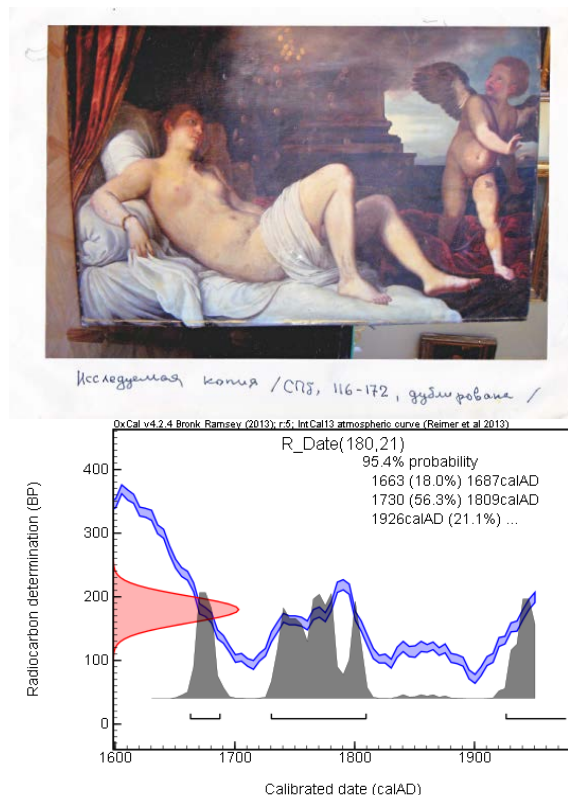


Рис. 5.2.1. Пример радиоуглеродного анализа объекта с использованием УНУ «УМС ИЯФ СО РАН». Репродукция картина «Даная» из Мемориального музея А.С. Попова СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Радиоуглеродный возраст холста картины, полученный методом УМС с использованием всего одной ниточки холста, равен 180 ± 21 лет, что, наиболее вероятно, соответствует календарным годам 1730-1809.

5.3. ЭЛЕКТРОННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

5.3.1. Система электронного охлаждения бустера НИКА.

В 2017 году были продолжены работы по над системой электронного охлаждения (СЭО) бустера НИКА (Объединенный институт ядерной энергии, г. Дубна). Данная система предназначена для накопления пучка ионов при инжекции и для его охлаждения после ускорения до некоторой промежуточной энергии. Максимальная энергия электронного пучка составляет 60

кэВ, что соответствует энергии ионов 110 МэВ/нуклон.

В начале года были закончены испытания СЭО в ИЯФ СО РАН, и затем система была отправлена в ОИЯИ для сборки на штатном месте. С весны 2017 года начались работы по сборке и запуску СЭО в ОИЯИ. После сборки магнитной системы была проведена работа по выравниванию магнитного поля в секции охлаждения. Достигнутое значения прямолинейности силовой линии на уровне $(1,5 \pm 2,0) \cdot 10^{-5}$ достаточно для эффективного охлаждения и укладываются в требования ТЗ. После окончания магнитных измерений был проведен вакуумный прогрев и активация катода пушки. После прогрева был достигнут вакуум на уровне

$(3 \div 5) \cdot 10^{-11}$ мбар. В конце года в СЭО был проведен электронный пучок с током 200 мА на энергии 1,75 кэВ, что соответствует энергии инжекции в бустере.



Рис. 5.3.1: Сборка СЭО бустера НИКА в ОИЯИ (г. Дубна).

5.3.2. Высоковольтная система электронного охлаждения для коллайдера НИКА.

Были продолжены работы по разработке высоковольтной СЭО для коллайдера НИКА. Данная система состоит из двух независимых охладителей на энергию электронного пучка до 2,5 МэВ с током до 1 А и предназначена для охлаждения непосредственно на энергии эксперимента. Два охладителя позволяют одновременно охлаждать оба ионных пучка в коллайдере.

Охлаждение непосредственно в режиме столкновения ионных пучков позволит повысить светимость комплекса НИКА за счет увеличения фазовой плотности ионов. Кроме того, охлаждение позволит увеличить время жизни ионного пучка за счет компенсации «греющих» эффектов (внутрипучковое рассеяние, эффекты встречи и т.д.). Охлаждение при инжекции позволит накопить большую интенсивность за счет освобождения апертуры кольца для новых порций ионов.

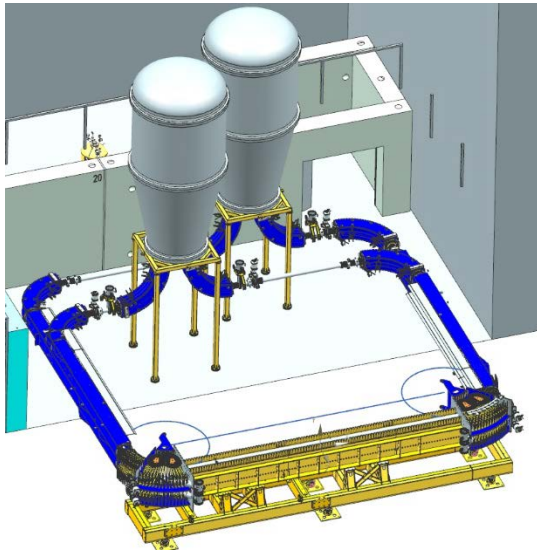


Рис. 5.3.2: 3-D модель высоковольтной СЭО для коллайдера НИКА.

5.3.3. Прототип высоковольтной секции СЭО для накопителя HESR (Германия).

В 2017 году был собран прототип высоковольтной секции для электронного охладителя HESR (High Energy Storage Ring). Данный охладитель планируется использовать для охлаждения пучка антипротонов на энергии эксперимента при работе на внутренней мишени. Например, для проведения высокоточных экспериментов по изучению структуры адронов и взаимодействия кварков и глюонов в ядрах требуется очень малый разброс по продольному импульсу (примерно 10^{-5}), чего можно достигнуть только с помощью охлаждения.

Разрабатываемая секция содержит 2 соленоида для создания магнитного поля, высоковольтный источник питания на напряжение до 600 кВ и всю электронику для управления. Все элементы питаются от специального турбогенератора компании DEPRAG с выходной мощностью до 5 кВт. Использование турбины позволяет передать большую мощность в секцию, находящуюся под высоким потенциалом, с помощью газа (например, воздуха или азота). Одна секция имеет цилиндрическую форму с диаметром 3 м и высотой 0,7 м. Планируется, что высоковольтная система СЭО будет состоять из нескольких таких секций, установленных одна на другую. Для создания охладителя на 8 МэВ требуется 13-14 секций.

5.4. СОЗДАНИЕ ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ ЛИУ-20

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

Основные физические параметры линейного индукционного ускорителя ЛИУ-20 представлены в таблице 5.4.1.

Таблица 5.4.1. Основные физические параметры ЛИУ-20.

<i>Параметр</i>	<i>Значение</i>
Энергия электронного пучка	20 МэВ
Ток электронного пучка	2 кА
Длительность тока эл.пучка	60 - 350 нс
Эмиттанс электронного пучка на выходе ускорителя (не более)	50 мм*мрад
Временная нестабильность энергии пучка на протяжении одного импульса	0.5 %
Максимальная частота повторения импульсов	0.1 Гц

Первоначальное формирование электронного пучка происходит в инжекторе, который состоит из высоковакуумного диода с низкотемпературным катодом диспенсерного типа и ускоряющей секции. Электронный пучок имеет максимальную энергию 2 МэВ на выходе инжектора. Дальнейшее ускорение пучка до энергии 20 МэВ производится 30-ю короткими модулями и 12-ю однотипными длинными ускоряющими модулями. Такое разбиение ускорителя на модули и низкое значение среднего темпа ускорения связано с минимизацией аббераций поперечной фокусировки пучка в ускоряющей и фокусирующей системе, которая и обеспечивает малое значение фазового объема пучка на выходе ускорителя. Минимизация аббераций, связанных с нелинейностью дефокусирующего воздействия сил пространственного заряда и токов-образований достигается оптимальным расположением фокусирующих элементов и минимизацией вариаций поперечного размера пучка в ускорителе. Увеличение фазового объема пучка, связанное с неточностью выставки ускоряющих и фокусирующих элементов, постоянно контролируется специальной

системой оперативных геодезических измерений геометрии ускорителя. По результатам этих измерений производится коррекция положения смещенных элементов ускорителя. Управление работой всех подсистем ускорителя, во всех режимах осуществляется с центрального пульта посредством специализированной системы управления. В итоге, ЛИУ-20 состоит из пяти базовых элементов: инжектора, коротких ускоряющих модулей, длинных ускоряющих модулей, системы оперативных геодезических измерений, и системы управления. Первые три элемента локализованы территориально, последние два равномерно распределены по всему ускорителю.

5.4.1. Линейный индукционный ускоритель ЛИУ-5.

В целях отработки технологии сборки и задач по настройке линейного ускорителя ЛИУ-20 в ИЯФ СО РАН был собран и запущен в работу линейный индукционный ускоритель ЛИУ-5. Ускоритель состоит из инжектора, восьми коротких ускорительных модулей, кикера, двух транспортных каналов: прямого и поворотного, двух мишеней и детектора. Схема импульсного питания ускорителя включает в себя 2 зарядных устройства и 112 модуляторов, собранных в 14 радиостойках. Схема ускорителя приведена на рисунке 5.4.1. Параметры ЛИУ-5 представлены в таблице 5.4.2.

Таблица 5.4.2 Основные физические параметры ЛИУ-5.

<i>Параметр</i>	<i>Значение</i>
Энергия электронного пучка	4.6 МэВ
Ток электронного пучка	2 кА
Длительность тока эл.пучка	60 нс
Поперечный размер электронного пучка на мишене (не более)	1 мм
Временная нестабильность энергии пучка на протяжении одного импульса	0.5 %
Максимальная частота повторения импульсов	0.1 Гц

5.4.2. Электронно-оптическая система инжектора ЛИУ-5.

Состоит из катодного узла, находящегося под импульсным высоким напряжением отрицательной полярности, анодного блока, а также системы магнитной фокусировки и коррекции пучка. Электронный пучок с током до 2 кА формируется в вакуумном диоде при напряжении на катоде до -1 МВ. Катод механически удерживается на высоковакуумном секционированном проходном изоляторе. На выходе диода расположен второй аналогичный изолятор, обеспечивающий ускорение сформированного в диоде пучка до максимальной энергии 2 МэВ.

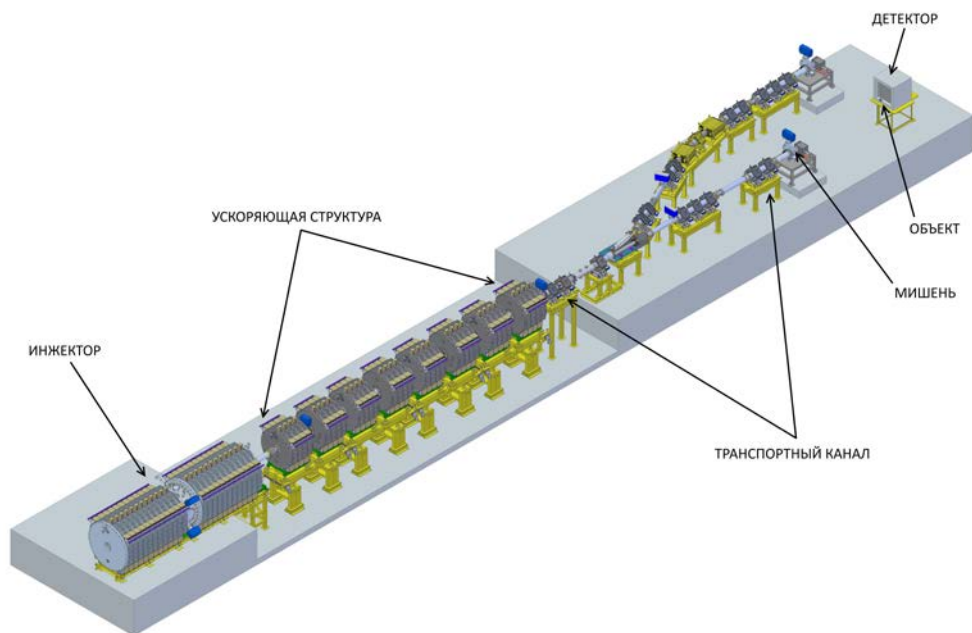


Рис. 5.4.1. Общий вид индукционного линейного ускорителя ЛИУ-5.

5.4.3. Ускорительная часть ЛИУ-5.

В состав ее входит восемь коротких ускоряющих модулей (КУМ). Каждый КУМ (общий вид см. на рис. 5.4.2) увеличивает энергию электронов на величину до 336 кэВ.

Для получения номинального ускорения короткий модуль включает в себя 16 одинаковых индукторов. Ускоряющая трубка состоит из 10 секций по 30 мм.

Внешний диаметр керамических колец составляет 250мм, внутренний – 230мм.

Выбранная длина ускоряющей трубки имеет большой запас по электрической прочности и в основном определяется требованиями минимизации аберраций в краевых полях ускоряющего зазора.

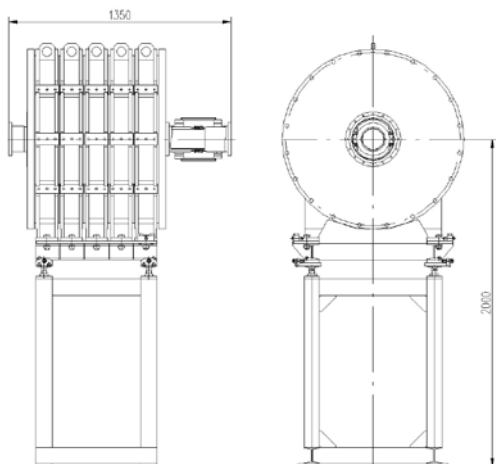


Рис.5.4.2. Общий вид короткого ускорительного модуля.

5.4.4. Импульсная система высоковольтного питания

Предназначена для формирования прямоугольных импульсов отрицательного напряжения. Данная система состоит из импульсного высоковольтного трансформатора (ИВТ) индукторного типа, кабельной системы соединения импульсных высоковольтных источников питания (далее – модуляторов) с секциями ИВТ, 112-и модуляторов, двух зарядных устройств (ЗУ) и кабельной системы подключения зарядных устройств к модуляторам.

5.4.5. Система диагностики электронного пучка.

Предназначена для измерения и оперативного контроля основных параметров электронного пучка, а именно, энергии и тока пучка, его поперечного положения. Ток пучка измеряется импульсными трансформаторами тока. Временная зависимость поперечного положения и тока пучка измеряется посредством широкополосного полоскового датчика (далее - пикапа) установленных равномерно по всей длине ЛИУ-5 в количестве восьми штук.

5.4.6. Система магнитной фокусировки и коррекции пучка.

Данная система предназначена для качественной транспортировки пучка от инжектора до выхода последнего короткого ускоряющего модуля. Линзы имеют специальный дизайн, чтобы максимально уменьшить величину сферической аберрации в попе-

речной фокусировке пучка. Корректоры располагаются после линз и призваны аккуратно компенсировать слабые внешние магнитные поля. Все линзы и корректора имеют индивидуальное питание с долговременной стабильностью не хуже 0,05%. Положение электромагнитных линз в канале транспортировки выбрано так, чтобы биения радиуса пучка не превышали 10%, что соответствует примерно 0,9 м между центрами линз. Согласно расчетам, максимальный диаметр пучка в канале не превышает 90 мм.

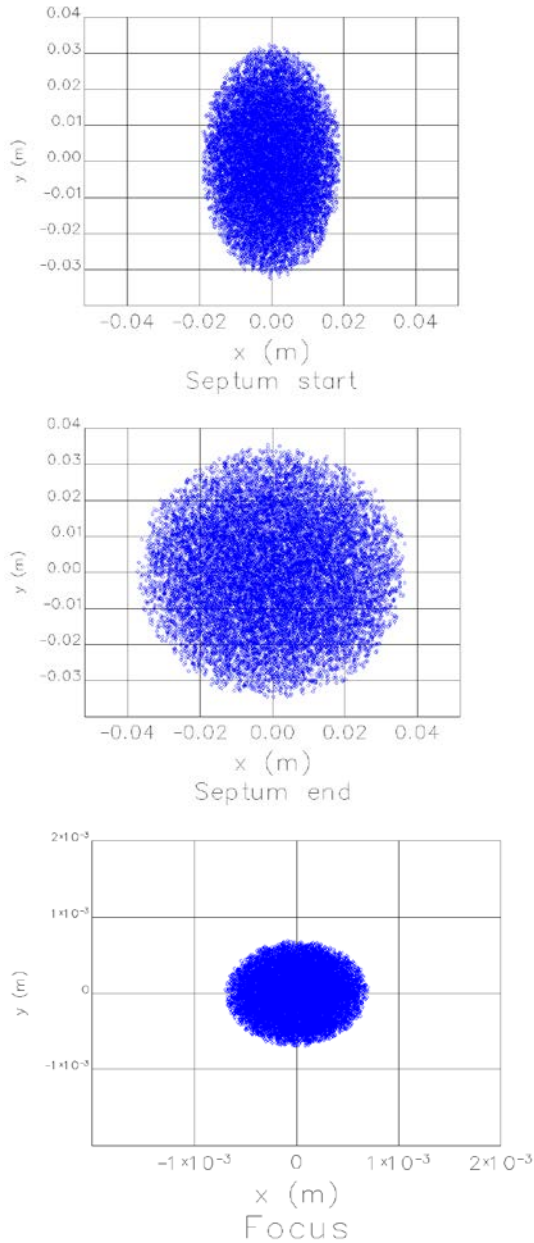


Рис.5.4.3. Результаты численного моделирования размеров пучка : а) на входе в септум- магнит, б) на выходе септум-магнита, в) на мишени.

Для уменьшения величин сферических aberrаций, внутренняя апертура линз должна составлять не менее 220 мм при длине линз 200 мм. Линзы устанавливаются на канале сразу с точностью не хуже 0,1 мм и не предполагают дальнейшей юстировки.



Рис.5.4.4. Момент попадания пучка в танталовую мишень.

5.5 РАЗРАБОТКА КЛИСТРОНА

Для разрабатываемого в ИЯФ клистрона были изготовлены коллектор пучка, катодный узел и пролетная часть. Все элементы собраны, проверены на вакуум с прогревом до 150°C . На Рис. 5.5.1 представлен собранный макет клистрона, предназначенный для работы в диодном режиме.



Рис. 5.5.1. Макет клистрона для испытания в диодном режиме.

Для фокусирующей системы клистрона полностью изготовлены два соленоида, показанные на Рис. 5.5.2. В дальнейшем планируется провести измерения распределения магнитного поля соленоидов.



Рис. 5.5.2. Соленоиды клистрона.

В качестве выходного волноводного тракта клистрона предполагается использовать волноводный делитель-сумматор с двумя вакуумными окнами баночного типа или одно вакуумное окно на бегущей волне без дополнительных волноводных элементов. Оба элемента изготовлены (см. Рис. 5.5.3) и измерены при низком уровне СВЧ мощности. В 2018 году будет создан стенд для тренировки и измерений изделий при высоком уровне мощности генератора на базе клистрона комплекса ВЭПП-5.



Рис. 5.5.3. Элементы выходного волноводного тракта клистрона: сверху волноводный делитель-сумматор с вакуумными окнами баночного типа, внизу – вакуумное волноводное окно на бегущей волне.

Для тренировки клистрона в диодном режиме разработан модулятор. Высоковольтная часть модулятора и импульсный трансформатор изготовлены (см. Рис. 5.5.4-5.5.5). Кроме этого, разработана система управления модулятором, которая проходит испытания.



Рис. 5.5.4. Высоковольтная часть модулятора.



Рис. 5.5.5. Импульсный трансформатор.

Для работы в режиме генерации СВЧ мощности выполнено моделирование группирующих резонаторов, по результатам моделирования на выходе получено 50МВт СВЧ мощности (см. Рис. 5.5.6). С учетом полученных результатов, разработана система группирующих резонаторов, общий вид которой представлен на Рис 5.5.7. Изготовление и настройка резонаторов планируется в 2018 году.

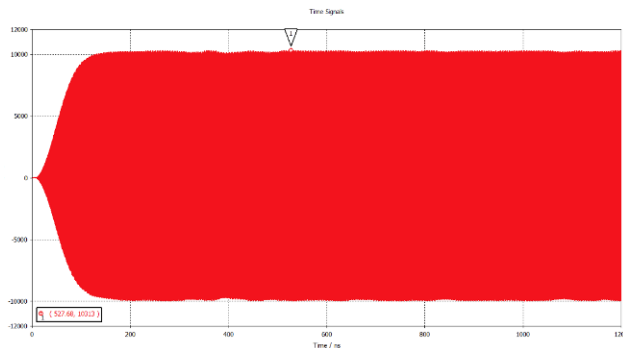
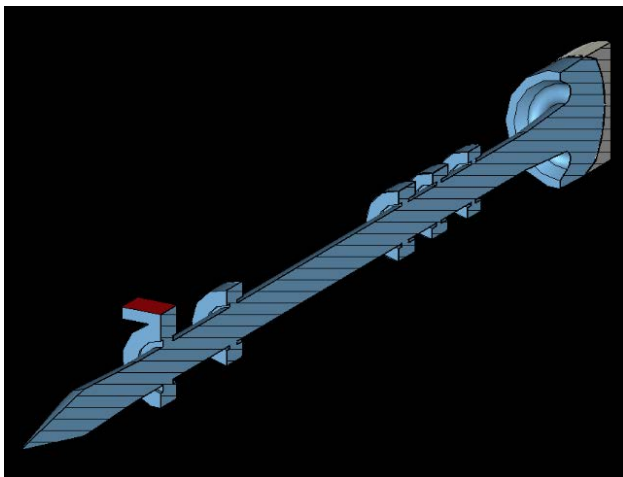


Рис. 5.5.6. Расчет клистрона: сверху – трехмерное моделирование пролетной части клистрона, внизу – амплитуда выходного СВЧ сигнала, соответствующая мощности 50 МВт.

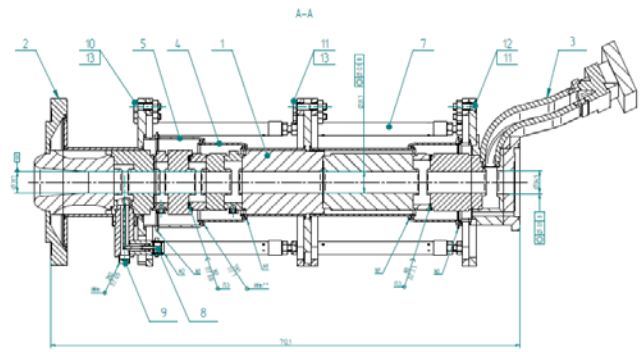


Рис. 5.5.7. Сборочный чертеж группирующих резонаторов клистрона.

В 2017 году разработаны все основные элементы клистрона. Конструкция выполнена таким образом, чтобы можно было производить быструю замену элементов. Предполагается, что проделанные в 2017 году работы позволят произвести настройку и измерения при рабочих значениях тока и напряжения клистрона.

СВЧ фотопушка

Для работы с ультракороткими пучками и с пучками больших зарядов разработан макет СВЧ фотопушки без фотокатода. Он представляет собой 1.5 ускоряющих ячейки с вводом мощности коаксиального типа. Такой ввод является аксиально-симметричным, что позволяет исключить влияние на пучок несимметричных компонент электромагнитного поля, обеспечивая высокое качество пучка. С помощью данного макета предполагается определить максимальную прошедшую мощность, а также энергию ускоренных электронов, образующих темновой ток. На Рис. 5.5.8 показан изготовленный и настроенный макет СВЧ фотопушки, готовый для тестирования при высоком уровне СВЧ мощности.



Рис. 5.5.8. Макет СВЧ фотопушки.

Кроме макета СВЧ фотопушки предложены и изготовлены фотокатоды на основе сплава Ir5Ce, показанные на Рис. 5.5.9. Такие катоды могут использоваться как термокатоды, а также как фотокатоды, поскольку обладают сравнительно высокой квантовой эффективностью и большим временем жизни, сопоставимым с металлическими фотокатодами. Предполагается проверить деградацию данных катодов под действием лазера. Для этого изготавливается стенд

совместно с Институтом лазерной физики СО РАН. Также предполагается измерение квантовой эффективности данных фотокатодов.



Рис.5.5.9. Фотокатоды на основе Ir5Ce.

Компактный электронный ускоритель на основе магнетрона

Для работы с укоренными пучками электронов с энергией до 10 МэВ в ИЯФ СО РАН создается компактный ускорительный стенд. Основными элементами стенда являются: магнетрон МИ-456, модулятор, ускоряющая структура и высоковольтная пушка электронов. Рабочая частота стенда 2856 МГц. Полностью изготовленные и настроенные ускоряющая структура и источник электронов показаны на рисунках 5.5.10-5.5.11, соответственно.

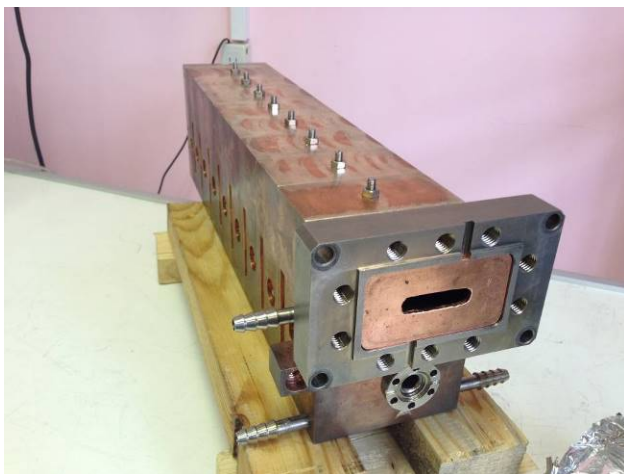


Рис. 5.5.10. Ускоряющая структура с параллельной связью.

Одним из ключевых элементов стенда является модулятор магнетрона. Данное изделие полностью разработано в ИЯФ СО РАН. К настоящему времени проведена наладка модулятора при работе с магнетроном.



Рис. 5.5.11. Электронная пушка с напряжением до 50 кВ.

На Рис. 5.5.12 представлена схема ускорительного стенда для запуска магнетрона.

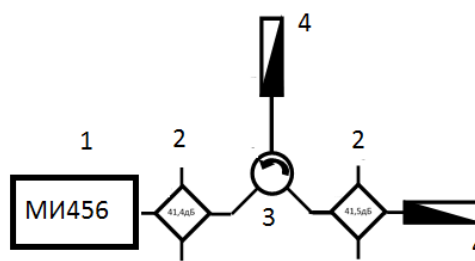


Рис. 5.5.12. Принципиальная схема установки для запуска магнетрона: 1- магнетрон, 2- ответвитель, 3- циркулятор, 4- нагрузка.

Магнетрон, запитанный от модулятора, генерирует СВЧ мощность с длительностью импульса 6 мкс. С целью измерения отраженной и падающей мощности в волноводном тракте установлены ответвители до и после циркулятора с ослаблением 41,4 и 41,5дБ, соответственно. Для разделения сред вакуум/воздух в волноводном тракте предполагается использовать СВЧ окно, установленное перед ускоряющей структурой.

Характеристики магнетрона МИ-456 производства НПО ФАЗА приводятся в таблице 5.5.1.

Таблица 5.5.1. Характеристики магнетрона МИ-456АМ:

Параметр, единицы измерения	Значение
Частота, МГц	2851
Мощность импульсная выходная, МВт	3,5
Напряжения анода, кВ	55
Ток анода импульсный, А	100
Длительность импульса, мкс	6
КСВ	1,25
Сквозность не менее	550

Функциональная схема модулятора показана на Рис. 5.5.13, изготовленный модулятор изображен на

Рис. 5.5.14. Параметры модулятора приведены в таблице 5.5.2.

Таблица 5.5.2. Параметры модулятора

	Параметр, единицы измерения	Значение
1.	Частота повторения Гц	1 ÷ 200
2.	Мощность импульсная выходная, МВт	2,2-24
3.	Напряжения выхода, кВ	45-60
4.	Выходной ток импульсный, А	50-400
5.	Длительность импульса, мкс	3-8
6.	Фронт импульса не менее, нс	200

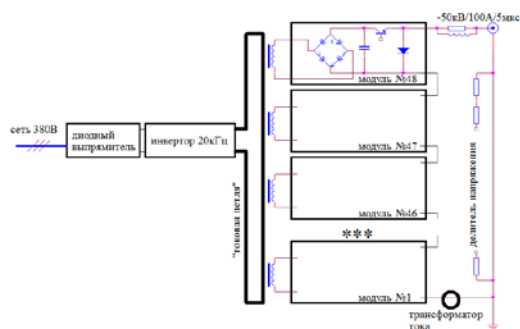


Рис. 5.5.13. Принципиальная схема.



Рис. 5.5.14. Модулятор магнетрона.

СВЧ стенд был полностью собран для получения генерации СВЧ мощности магнетрона. В результате получена мощность в волноводном тракте в районе

1,5 МВт. Осциллограммы выходных сигналов показаны на Рис. 5.5.15. В 2018 году планируется работа с ускоряющей структурой и ускоренными электронами.

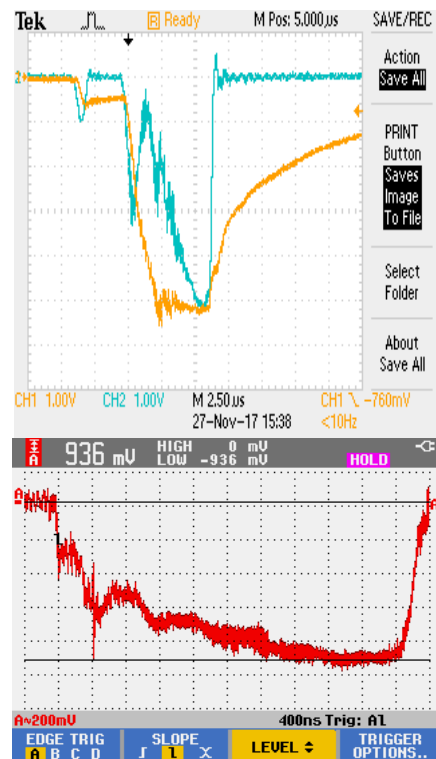


Рис. 5.5.15. Сигналы СВЧ стенда. Вверху: CH1 – высокое напряжение модулятора, CH2 – ток модулятора; внизу – огибающая СВЧ сигнала магнетрона.

5.6. РАЗРАБОТКА МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

5.6.1. Прототип источника электронов с магнитным поворотом пучка.

Большой проблемой устройств для электронно-лучевых технологий является выход из строя катода электронной пушки из-за попадания паров или капель обрабатываемых материалов в объем электронной пушки. Возможно решение указанной проблемы с помощью поворота электронного пучка на 90° магнитным зеркалом (альфа-магнитом). Пучок, сформированный электронной пушкой, фокусируется аксиальной магнитной линзой, проходит через магнитный поворот и фокусируется второй магнитной линзой для формирования пучка нужного размера на обрабатываемой детали. Магнитный поворот состоит из двух магнитных квадруполов и магнитного зеркала, в котором пучок описывает петлевую траекторию. В качестве магнитного зеркала используется плоский диполь на постоянных магнитах. Такое магнитное зеркало обладает астigmatизмом, и для его компенсации используются квадруполы. На рис. 5.6.1 приведен расчет траектории электрона с магнитным зеркалом.

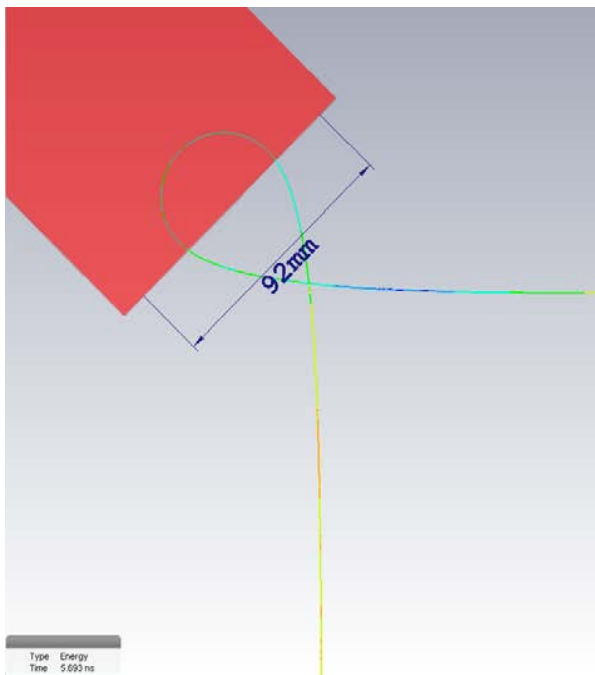


Рис. 5.6.1. Расчет траектории электрона с энергией 60 кэВ и расстоянием между проекциями осей для диполя с зазором 15 мм и полем 370 Гс.

В данном прототипе была выбрана нестандартная конструкция альфа-магнита. Магнит должен быть весьма компактным и обеспечивать требуемые значения магнитного поля при небольших значениях плотности тока в катушках. Магнит в этой работе представляет из себя два стальных сердечника, на которые

намотаны токоведущие катушки. Один из краев сердечника выполнен в форме гиперболы. Сердечники соединены друг с другом с помощью экрана. На рисунке 5.6.2 представлено изображение сердечников с катушками, а на рисунке 5.6.3 с экраном.

Габариты такого магнита составляют 130x54x41мм. Магнит с такими габаритами можно уместить в камере с диаметром 150 мм. Габариты могут быть сделаны меньше, но это приведет к увеличению плотности тока в катушках. Размер сечения катушек: 40x10 мм. Размеры сердечника 60x34x18 мм. Толщина экрана равняется 3 мм. Размер отверстия 22x16 мм (не учитывается закругление). Так же в конструкции присутствуют проставки, которые соединяют сердечники с экраном, плюс проставки по обе стороны катушек снизу сердечника. Все магнитные элементы в моделировании выполнены из стали 10 (все выше перечисленные части магнита за исключением катушек). Максимальное значение магнитного поля в таком магните $\sim 0,6$ Тл.

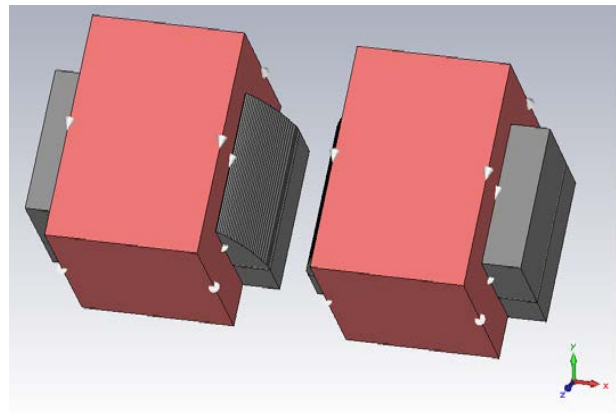


Рис. 5.6.2. Модель альфа-магнита без экрана.

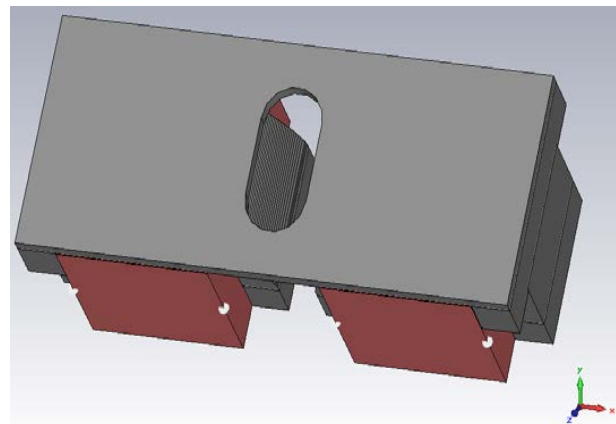


Рис. 5.6.3. Модель альфа-магнита с экраном.

Был импортирован пучок, полученный на стадии моделирования электронной пушки и фокусирующего соленоида. Были подобраны оптимальные параметры для альфа-магнита. На рисунке 5.6.4 представлена траектория импортированного пучка, проходящего через альфа-магнит.

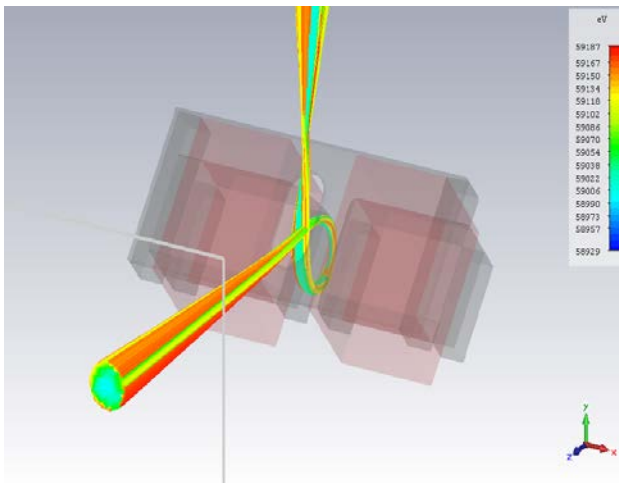


Рис. 5.6.4. Траектория пучка, проходящего через альфа-магнит.

Плотность тока в катушках $\sim 0,7 \text{ А/мм}^2$. Такой альфа-магнит можно разместить в камеру с диаметром 150 мм. Из рисунка 5.6.4 видно, что пучок из альфа-магнита выходит не сфокусированным. Для обеспечения требуемого размера пятна пучка планируется разместить дополнительную фокусировку. В настоящее время идут работы по созданию квадрупольного дуплета, который позволит сфокусировать пучок в точке сварки.

На данном прототипе источника электронов с поворотом пучка были проведены следующие работы:

- совместно с ООО «Ан Ка Са Да» г. Москва и с Институтом теплофизики СО РАН отработывается технология получения нанопорошков методом испарения электронным пучком и осаждения на холодных подложках различных материалов, в том числе нанесение защитных покрытий на них для хранения и транспортировки;
- совместно с Институтом химии твёрдого тела и механохимии СО РАН проводятся работы по исследованию возможности получения высокотемпературных композиционных материалов методами механохимической и электронно-лучевой обработки и использования этих материалов в аддитивных технологиях.

5.6.2. Прототип источника пучка электронов для электронно-лучевых технологий с лазерным подогревом катода.

На основе существующего энергоблока для установок электронно-лучевой сварки разработан и запущен в работу прототип источника электронного пучка. Отличительной особенностью прототипа является наличие лазерного подогрева катода электронной пушки и охлаждаемого деионизованной водой катодного узла.



Рис. 5.6.5. Общий вид прототипа.

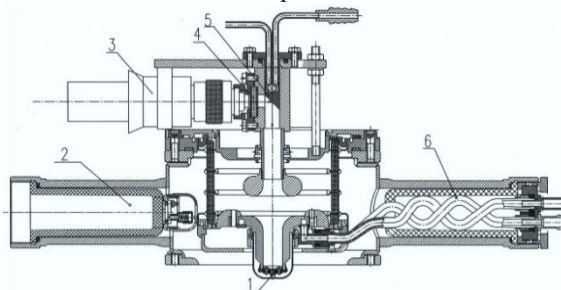


Рис. 5.6.6. Схема лазерного подогрева катода.

1 – катод, 2 – ввод высокого напряжения, 3 – объектив, 4 – окно ввода лазерного излучения, 5 – медное зеркало с охлаждением для поворота луча, 6 – ввод деионизованной воды охлаждения.

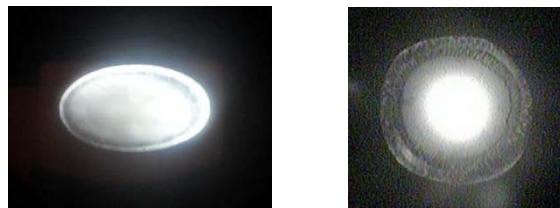


Рис. 5.6.7. Электронное изображение на люминофоре области эмиссии с катода: слева – прямонакальный катод без водяного охлаждения, справа – катод с лазерным подогревом и водяным охлаждением катодного узла.

Достоинства и недостатки предлагаемого источника электронного пучка

Лазерный подогрев катода и охлаждение катодного узла дают определённые преимущества перед прямым накалом катода:

- при охлаждении деионизованной водой прикатодевого электрода и деталей катодного узла имеется возможность регулирования размера эмитирующего пятна катода, снижая ореол пучка и при уменьшении диаметра пятна, минимизируя поперечный размер электронного пучка (при малом поперечном размере электронного пучка получается минимальная усадка металла в сварочном шве и увеличивается глубина провара при заданном сварочном токе);

- не требуется дополнительного источника магнитного поля, компенсирующего собственное магнитное поле тока накаливания при прямом накале катода;

- возможность передачи мощности излучения лазера через вакуум, что облегчает изоляцию подогревателя катода, находящегося под нулевым потенциалом, от потенциала катода в несколько десятков киловольт или больше;

- возможность упрощения управления выходным током источника модуляцией мощности излучения лазера.

Некоторые недостатки лазерного подогрева катода электронной пушки источника электронов:

- возможно частое запыление металлического зеркала поворота луча лазера;

- относительная дороговизна источников лазерного излучения (в связи с интенсивным ростом внедрения лазерных источников в промышленное производство будет повышаться серийность их производства, что позволит за собой существенное удешевление этих источников).

Основные параметры прототипа источника электронного пучка

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1.	Тип лазера, длина волны излучения, мощность	Иттербиевый волоконный, непрерывный с аналоговой модуляцией мощности, 1070 нм, до 500 Вт
2.	Энергия пучка электронов	до 60 кэВ
3.	Ток пучка электронов	До 170 мА
5.	Катодный узел	Охлаждается деионизованной водой
6.	Диаметр эмиттирующей поверхности катода	От 1,8 мм до 4 мм

5.6.3. Расчеты и проектирование отдельных узлов источника электронов с энергией до 120 кэВ.

Источник электронов с энергией 120 кэВ имеет преимущество при формировании качественного пучка для термической обработки материалов по сравнению с 60 кэВ источником.

Расчет оптических схем для электронной пушки с ускоряющим напряжением 120 кВ.

Рассмотрены две оптических схемы для триодных электронных пушек на базе LaB₆ и Ta катодов. Максимальные мощности электронного пучка 30 и 60 кВт соответственно. Расчеты параметров электронного пучка проводились для косвенного подогрева катодов.

В схеме с LaB₆ катодом, используется катод с диаметром до 2 мм. Малость aberrаций обеспечивается малым размером катода, что позволяет использовать

простой плоский катод. Для оптимизации напряженности электрического поля на поверхности управляющего электрода используется сферическая форма электрода. Также в схему введен дополнительный электрод под напряжением -120 кВ, который прикрывает детали нагревателя и держателя катода.

Параметры схемы:

Макс. плотность тока на катоде 10 А/см²

Макс. напряженность электрического поля 58 кВ/см

Макс. ток пучка 260 мА

Диаметр пучка на расстоянии 0,5 м от края линзы 0,5 мм.

Угол схождения пучка на расстоянии 0,5 м от края линзы 10 мрад

Полное запираение пучка при 3 кВ.

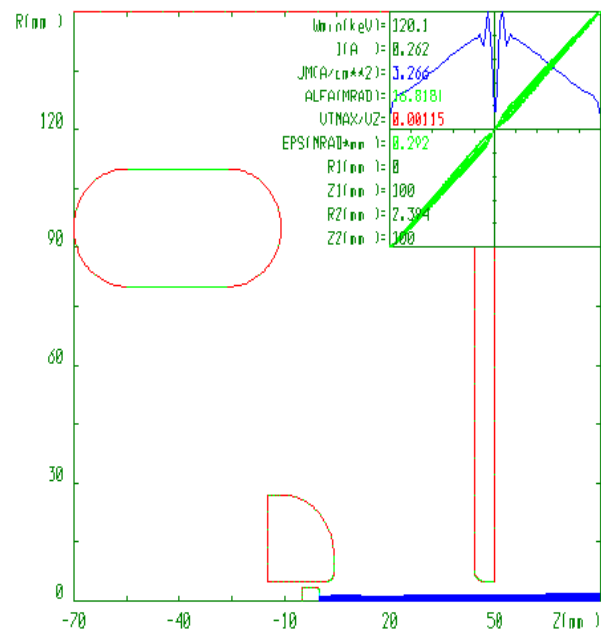


Рис. 5.6.8. Оптическая схема электронной пушки с LaB₆ катодом.

В схеме с танталовым катодом диаметр катода составляет 6 мм. При таком размере катода требуется оптимизация его формы для компенсации aberrаций. Технологически требуемая форма достигается прессованием танталового листа толщиной 0.2 мм.

Параметры схемы:

Макс. плотность тока на катоде 2 А/см²

Макс. напряженность электрического поля 63 кВ/см

Макс. ток пучка 550 мА

Диаметр пучка на расстоянии 0,5 м от края линзы 1,5 мм

Угол схождения пучка на расстоянии 0,5 м от края линзы 15 мрад

Полное запираение пучка при 3 кВ.

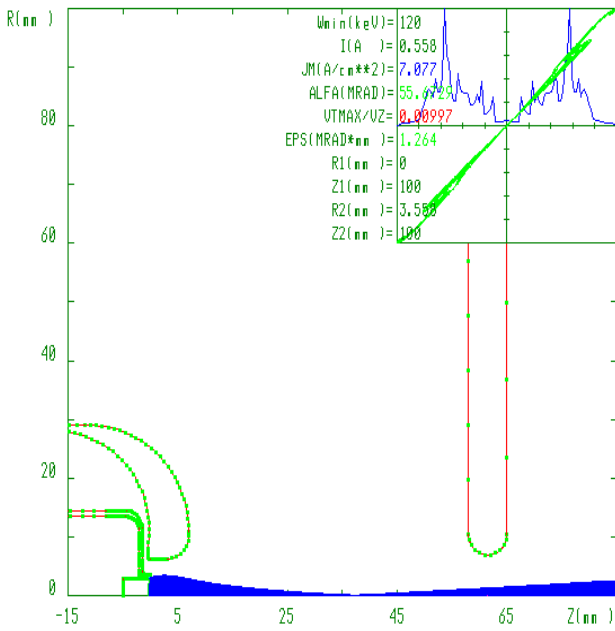


Рис. 5.6.9. Оптическая схема электронной пушки с танталовым катодом.

Косвенный подогрев катода может осуществляться лазерным или электронным пучком. При подогреве электронным пучком используется диодная пушка. При нагреве малого катода пучок может поджиматься фокусирующим электродом для оптимизации мощности подогрева.

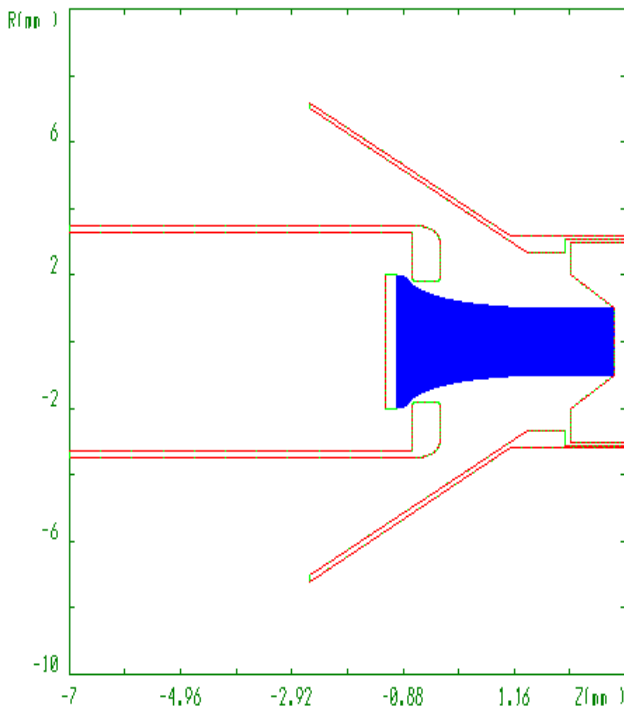


Рис. 5.6.10. Оптическая схема электронного косвенного подогрева.

Разработка источника высоковольтного питания, совмещенного с источником электронов 120 кВ.

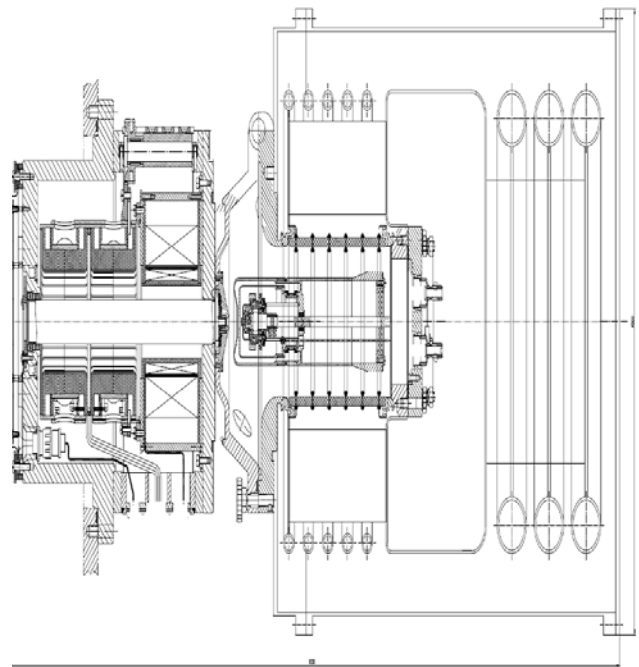


Рис. 5.6.11. Общий вид источника электронов 120 кВ, совмещенного с высоковольтным источником питания.

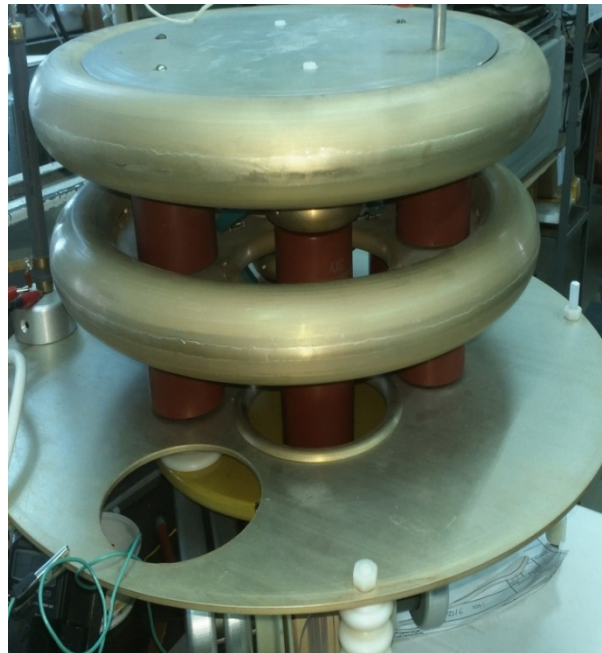


Рис. 5.6.12. Испытание прототипа секции умножителя для высоковольтного источника питания на 120 кВ, 8 кВт.

5.6.4. Разработка и изготовление измерительных систем новых магнитных элементов.

Разработка прототипа измерительной системы, основанной на трёхкомпонентных датчиках Холла.

Для решения поставленной задачи, был приобретен 3-х координатный датчик Холла MagVector MV2, фирмы MetroLab, который выполнен в виде интегральной микросхемы, имеющей, так же, встроенные термодатчик и АЦП. Чтобы начать работу, был куплен комплект для макетирования рабочего устройства.



Рис. 5.6.13. Комплект для работы с 3-х координатным датчиком.

Для взаимодействия с датчиком, написана тестовая программа, позволяющая менять настройки и переключаться между различными режимами работы датчика.

Проведена предварительная калибровка температурного коэффициента датчика и проверена его работа в различных диапазонах чувствительности и двух заявленных режимах работы: цифровом и аналоговом.

На данном этапе, сделан вывод о пригодности датчика для оценочных измерений в цифровом режиме работы (используется встроенное 16-ти разрядное АЦП). Для работы в аналоговом режиме, устройство можно дополнить температурной стабилизацией (опционально) и обеспечить источником тока 3,3 В 20 мА, со стабильностью не хуже 10 ppm. В настоящее время, ведётся поиск подходящих компонент.

Разработка аксиальной измерительной катушки.

В настоящее время Институт Ядерной Физики СО РАН выполняет заказ на изготовление 66 октупольных линз для нового источника синхротронного излучения ESRF (Гренобль, Франция). В рамках этой работы требуется произвести выставку магнитной оси линзы относительно базовых плоскостей с точностью не хуже 0.05 мм. Также требуется компенсировать поворот магнитного поля линзы относительно опорной плоскости магнита с точностью не хуже 0.2 мрад. Для выполнения таких измерений был изготовлен вал, на котором расположены 3 аксиальные многovitковые катушки.

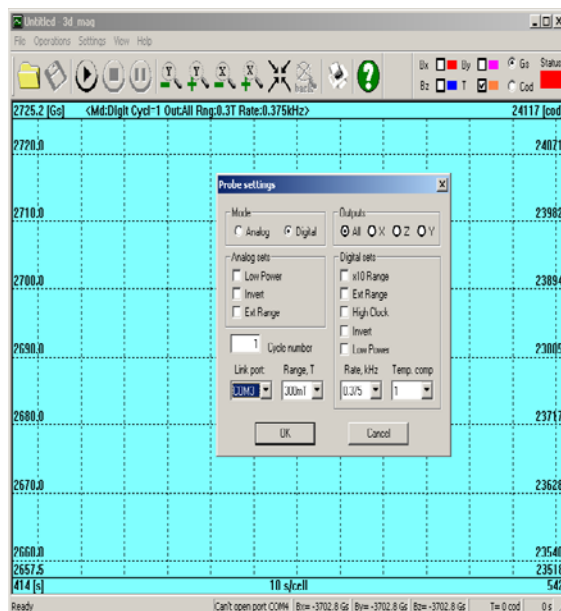


Рис. 5.6.14. Интерфейсное окно программы для работы с 3-х координатный датчиком Холла.

Корпус вала изготовлен из немагнитного материала стеклотекстолита. На торцах вала заделаны латунные хвостовики, на которые напрессовываются прецизионные шарикоподшипники. Внешняя поверхность вала и посадочных шеек для подшипников проточена за одну установку с достаточно высокой точностью.

Вал приводится во вращение с помощью сервомотора через сильфонную муфту. С противоположной стороны вала установлен угломер, который жестко соединен с хвостовиком вала. В стеклотекстолитовом корпусе вала изготовлены пазы глубиной 1,6 мм для укладки в них многovitковых аксиальных катушек. Каждая катушка содержит 135 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,08 мм. Катушка с углом 45 градусов наиболее чувствительна к октупольной компоненте поля. Эта катушка служит для измерения угла поворота магнита по измеренной нормальной и сью октупольным компонентам поля. Выражение для угла можно записать следующим образом:

$$\varphi = \frac{1}{4} \arctan \frac{A_4}{B_4},$$

где A_4 и B_4 - соответственно сью и нормальная октупольные компоненты разложения поля.

Дополнительные две катушки с углами по 90 градусов разнесены вдоль вала симметрично относительно центра. Можно показать, что при смещении магнитной оси октупольной линзы относительно оси вращения вала в измеренном сигнале появляется секступольная гармоника, амплитуда которой линейно зависит от расстояния между магнитной осью линзы и осью вала. Эти катушки нечувствительны к октупольной компоненте поля, и с помощью них измеряется смещение линзы.

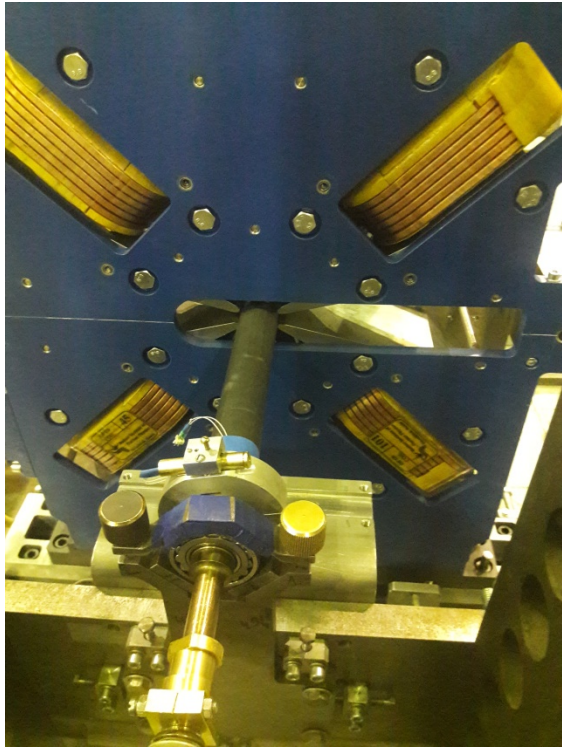


Рис. 5.6.15. Измерительный вал, установленный в апертуре октупольной линзы.

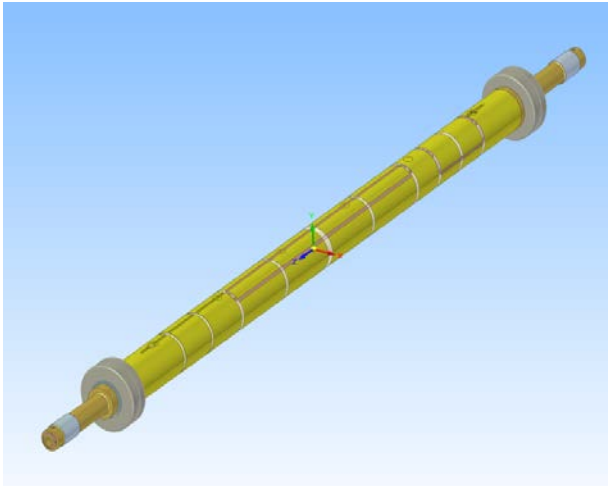


Рис. 5.6.16. 3D модель измерительного вала.

После установки в апертуре магнита измерительного вала и шагового двигателя производится установка «нуля» измерительного вала. Под «нулем» понимается начальное положение катушки, при котором будут производиться магнитные измерения. Для точной установки и обеспечения повторяемости используется лазер, жестко закреплённый на измерительном валу. Луч от лазера направляется на миллиметровую бумагу, которая закреплена на твердой поверхности. При помощи камеры удалено отслеживается положение пятна лазера на миллиметровой бумаге. Такой метод позволяет добиться точности установки начального положения вала лучше 0,1 мрад. Для измерения угла поворота линзы производится её измерение в двух

положения, нормальном и развернутом на 180 градусов относительно вертикальной оси.

Описанная система измерений позволяет измерять мультипольные магнитные линзы с достаточно высокой точностью. Для примера, ось октупольной линзы удастся выставить относительно базовых плоскостей не хуже 30 мкм, а поворот линзы не хуже 0,1 мрад.

Расчет магнитного элемента с регулируемыми дипольной, квадрупольной и секступольной компонентами.

Одним из наиболее подходящих вариантов магнитного элемента с регулируемыми дипольной, квадрупольной и секступольной компонентами является комбинация безжелезных элементов, например, двухслойных соленоидов, включенных навстречу друг другу, с азимутальной модуляцией катушки. Ниже приведены 3D расчеты магнитного поля дипольного магнита, квадрупольной и секступольной линз. Наибольшей эффективности такого подхода можно добиться использованием сверхпроводящих обмоток, а для тестирования предполагается изготовить элементы с «теплыми» обмотками.

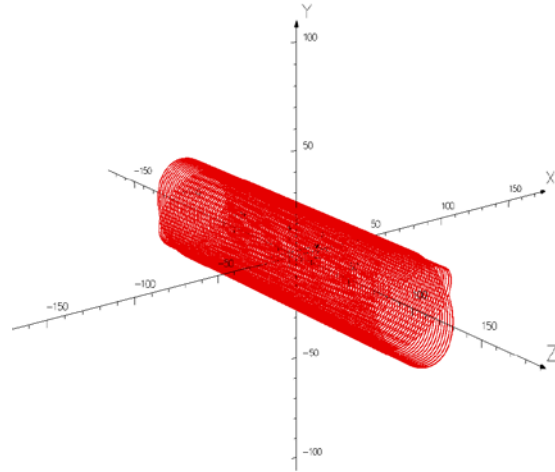


Рис. 5.6.17. Общий вид катушки дипольного магнита.

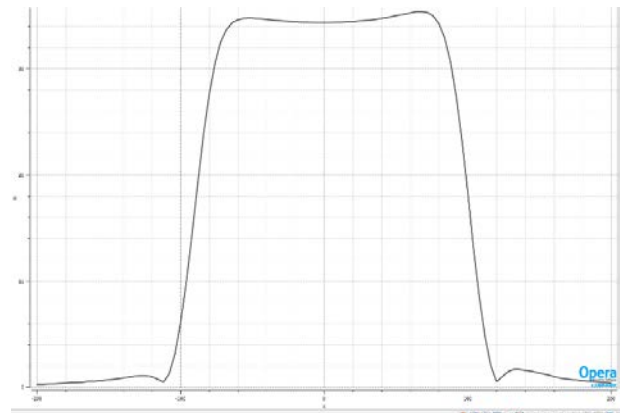


Рис. 5.6.18. Поле на оси дипольного магнита B[T], Z[mm]

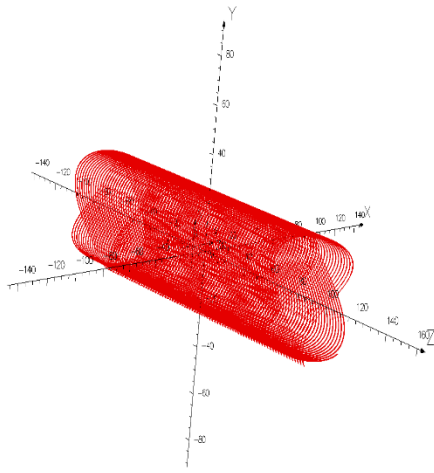


Рис. 5.6.19. Общий вид намотки квадрупольной линзы.

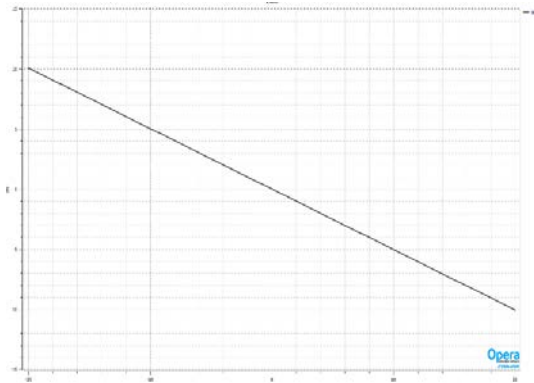


Рис. 5.6.20. Поле по оси X, Z=0, Y=0 в квадрупольной линзе, где B[T], Z[mm].

Градиент в середине квадрупольной линзы получается 5Т/см.

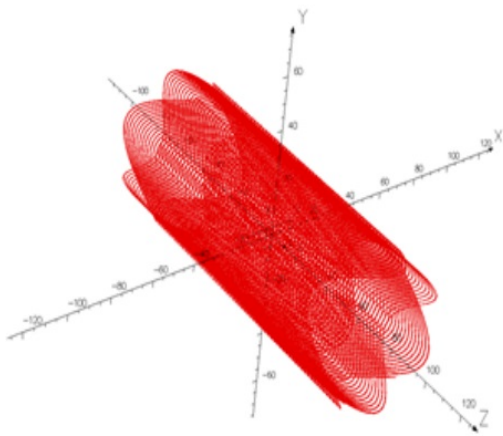


Рис. 5.6.21. Общий вид намотки секступольной линзы.

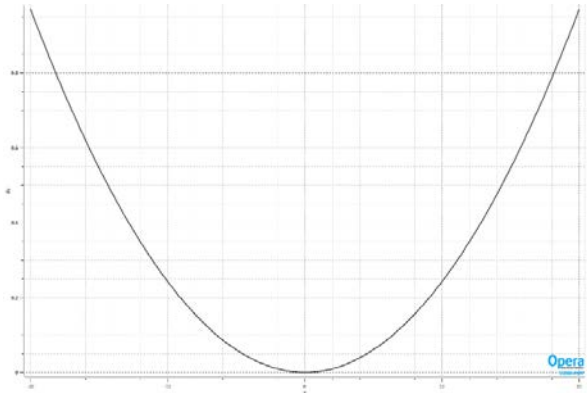


Рис. 5.6.22. Поле секступольной линзы на оси X, Y=0, Z=0, где B[T], Z[mm].

Градиент равен 0,25 Т/см²

Проработка материалов для магнитного элемента с малой остаточной намагниченностью.

Дальнейшие программы развития Большого адронного коллайдера (LHeC) и Будущего Кольцевого Коллайдера (FCC) предусматривают создание накопительных колец для электронов и позитронов. Дипольные магниты в этих проектах должны иметь малые поля – от 190 Гс до 1350 Гс в проекте LHeC и от 30 Гс до 300 Гс в проекте FCC-ее. В проекте FCC-ее такие диполи необходимы для бустерного синхротрона и в основном кольце в районе места встречи.

Как величина, так и качество поля должны повторяться при любых циклах изменения поля. При этом остаточные поля начинают играть существенную роль. С подобной проблемой встретились в процессе работы электрон-позитронного коллайдера LEP в ЦЕРН. Относительное качество поля менялось на $\pm 3 \cdot 10^{-4}$ из-за остаточной намагниченности сердечников в зависимости от параметров предшествующего цикла.

Остаточное поле B_0 в диполе определяется коэрцитивной силой H_C материала сердечника и примерно равно: $B_0 = H_C \cdot L / h$, где L - длина средней силовой линии по сердечнику, h – вертикальная апертура сердечника. L / h , в зависимости от геометрии сердечника, равно 20-30. Максимальная $H_{C \text{ макс}}$, приводимая в справочниках по электротехническим сталям, от 5 до 120 А/м ($\sim 0,06$ -1,5 Э). Остаточные поля могут иметь величину $2 \div 40$ Гс. H_C , в свою очередь, зависит от конкретного цикла (частной петли гистерезиса), по которому производился подъём и опускание уровня поля $B = B(I, t)$.

Из электротехнических сталей наименьшую коэрцитивную силу имеют анизотропные стали вдоль направления проката – 5 А/м. Поперек направления проката $H_{C \text{ макс}}$ в 4-5 раз больше, поэтому сердечник диполя необходимо изготавливать так, чтобы силовые линии шли, в основном, вдоль направления проката. Модель подобного сердечника была предложена для проекта LHeC. Остаточное поле в диполе было $\sim 0,93 \div 0,98$ Гс после различных циклов намагничивания, и при этом уровень поля при одном и том же токе устанавливался

с точность 1,4 Гс при номинальном поле $B=100$ Гс и 2,5 Гс при $B=500$ Гс.

Из этих результатов можно заключить, что использование электротехнических сталей даже с минимальной коэрцитивной силой ~ 5 А/м для диполей с полями 30÷300 Гс проблематично. Остаточная намагниченность приводит к неоднозначности полей в единицы и доли процента при заданном токе.

Для этих диполей возможно применение железо – никелевых сплавов, пермаллоев, имеющих коэрцитивную силу в несколько раз меньше. Но магнитные свойства этих сплавов зависят от механических напряжений, стоимость высока.

Лента из аморфного магнитомягкого сплава 82К3ХСР на основе кобальта, имеет $H_C \sim 0,4$ А/м. Но стоимость высока. Предназначена для изготовления малых деталей.

Из всех ферритов марка 20000 НМ имеет справочное значение $H_C \sim 1$ А/м. Большое давление при прессовании. Трудный для механической обработки.

Интерес представляют магнитодиэлектрики – мелкие ферромагнитные частицы, связанные диэлектриком. Преимущества – легкое необходимое формообразование. Концентрацией ферромагнитных частиц можно регулировать магнитные свойства – кривые намагничивания, коэрцитивную силу.

Исходными требуемыми свойствами для исследуемых материалов являются:

1. Малая, менее 0,1 А/м, коэрцитивная сила при полях намагничивания до 300÷350 Гс.
2. Относительная магнитная проницаемость μ при этих полях достаточна в пределах 50÷100. Предполагается, что за счет малого μ возможно уменьшить коэрцитивную силу H_C .
3. Высокая радиационная стойкость, не менее 200 МГр.
4. Технологичность при массовом производстве.
5. Стоимость сопоставимая со стоимостью электротехнических сталей.

Начаты исследования с магнитными порошками:

1. Магнитный порошок «Спектр» по ТУ 6-14-1009-79, Размер основной массы частиц не более 30 мкм. Массовая доля основного вещества в пересчете на Fe_2O_3 92 %
2. Магнитный порошок «Спектр» по ТУ 6-36-05800165-1009-93 Размер основной массы частиц не более 30 мкм. Массовая доля основного вещества в пересчете на Fe_2O_3 90 %
3. Магнитный порошок «Трифолин» по ТУ 6-14-870-77.
4. Магнитный нанопорошок Fe_2O_3 .

Магнитные свойства определяются на порошках в свободном состоянии и на образцах со связующими. Связующие – жидкое стекло (алюмосиликат) с добавлением цемента или прессованный под давлением порошок со связующим виниловым спиртом.

Параметры образцов определяются на установке магнито-измерительной МК-3Э.

Установка предназначена для измерения магнитных свойств магнитомягких материалов в следующих режимах: в соленоиде для определения коэрцитивной силы H_C и остаточной магнитной индукции B_r ; на кольцевых образцах измерения кривой намагничивания, петли гистерезиса, коэрцитивной силы H_C и остаточной магнитной индукции; в пермеамetre измерения кривой намагничивания, петли гистерезиса, коэрцитивной силы H_C и остаточной магнитной индукции.

В соленоиде будут проведены измерения свойств порошков в свободном состоянии. Порошки помещаются в трубку из немагнитного материала, на трубку наматывается измерительная обмотка.

На кольцевых образцах со связующими измеряются детальные характеристики. Полученные предварительные результаты показали, что стандартные методики измерений, применимые для электротехнических сталей, необходимо усовершенствовать и адаптировать для порошковых образцов. Методики измерений отрабатываются.

5.7. ДИПОЛЬНЫЙ МАГНИТ ДЛЯ СР (FAIR, Германия)

На кольце СР FAIR будут использоваться нормально проводящие дипольные магниты. Необходимо 24 диполя Н-типа с углом поворота частиц 15° и максимальным полем 1,6 Т. Размер области хорошего поля по вертикали составляет 140 мм, по горизонтали - 380 мм. Интегралы полей вдоль траекторий частиц не должны отличаться от теоретических более чем на $\Delta B \cdot l / B \cdot l = \pm 1 \times 10^{-4}$ для максимального поля и $\pm 2,5 \times 10^{-4}$ для поля 0,8 Т.

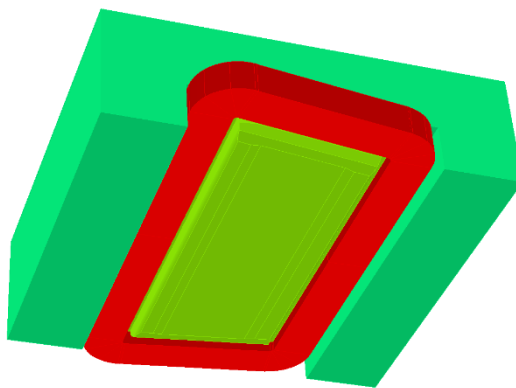


Рис. 5.7.1. Половинка модели магнита.

Дипольный магнит был промоделирован в программе OPERA. Внешний вид половинки магнита показан на рис. 5.7.1.

Расчёты качества поля дипольного магнита на эллипсе с осями 70 и 190 мм показаны на рис. 5.7.2. Качество поля удовлетворяет требованиям.

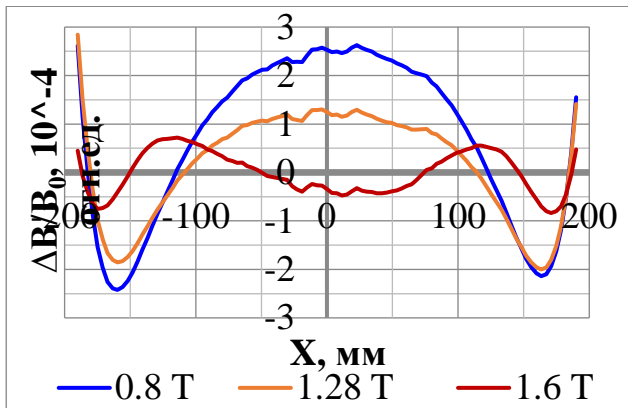


Рис. 5.7.2. Качество поля дипольного магнита CR.

В настоящее время оформлены и переданы заказчику все документы для утверждения FDR (Final Design Report), ведутся работы по подготовке серийного производства дипольных магнитов в ЭП ИЯФ.

5.8. ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ

5.8.1. Запуск в эксплуатацию криогенного и вакуумного оборудования XFEL

В 2017 произведен успешный запуск самого интенсивного на сегодняшний день лазера на свободных электронах рентгеновского диапазона XFEL в Гамбурге (Германия). ИЯФ СО РАН внес существенный вклад в конструирование, производство, сборку и запуск значительной части криогенных и высоковакуумных элементов XFEL.

Криогенная система инжектора XFEL, XLVB распределительный бокс линака и инжектора, система трубопроводов от -2 до -7 этажа здания XFEL была изготовлена, поставлена и адаптирована в общую систему XFEL специалистами ИЯФ. С момента начала криогенных работ на XFEL и по настоящее время, оборудование ИЯФ показало свою надежность и удовлетворению всем техническим требованиям XFEL при различных условиях работы ускорителя. Измеренные тепловые нагрузки оказались более чем на 30 процентов ниже оцениваемых, что говорит о высоком качестве изготовленного оборудования. Один из трех стендов для испытаний 1,3 ГГц криомодулей линака XFEL был переделан и адаптирован для испытаний 3,9 ГГц криомодуля инжектора. Предварительные результаты работы сверхпроводящей системы XFEL представлены в докладе руководителя криогенной группы DESY, Б. Петерсона на Cryogenic Engineering Conference CEC/ICMC 2017 «Commissioning and first cooldown of XFEL linac» и Ю.Божко «Commissioning and first cooldown of XFEL linac».

Сборка и запуск вакуумной системы XFEL также показали высокое качество оборудования, изготовленного в ИЯФ СО РАН. Это, прежде всего, прецизионные вакуумные камеры и поглотители излучения, установленные между ондуляторами (более 100 комплектов), широко-апертурные паянные камеры компрессоров пучка и основные коллиматоры пучка. Следует отметить, что вакуумные элементы, поставленные ИЯФ СО РАН, по суммарной протяженности занимают более 2000 метров, и что полученный в них уровень разрежения значительно ниже проектного.



Рис.5.8.1. Команда ИЯФ СО РАН в тоннеле XFEL на фоне 20-ти метрового компрессора пучка.

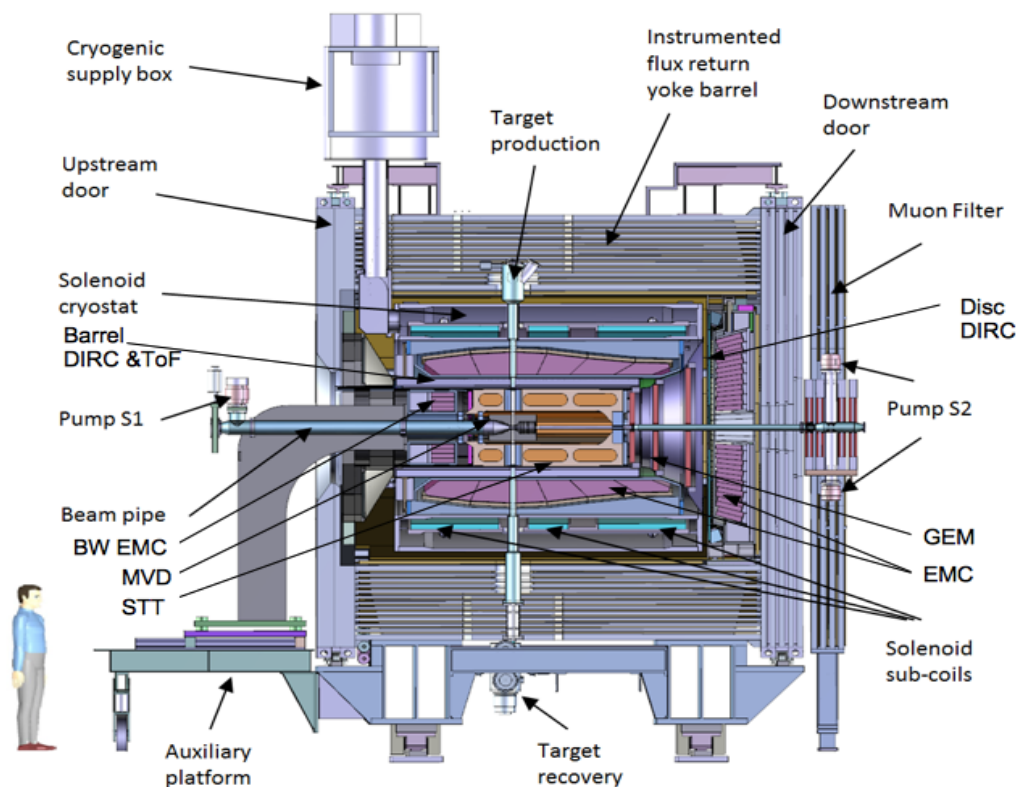


Рис. 5.8.2. Общий вид соленоида с системами детектора PANDA.

5.8.2. Проектирование, производство, сборка и испытания сверхпроводящего соленоида детектора PANDA.

В ИЯФ им. Г.И.Будкера по проекту FAIR в 2017 году был подписан контракт и начата разработка оборудования сверхпроводящего соленоида PANDA. Основные параметры соленоида:

- Магнитное поле рабочей области – 2 Тл;
- Однородность магнитного поля рабочей области $\pm 2\%$;
- Внутренний диаметр соленоида – 1,9 м;
- Количество катушек соленоида – 3 шт.;
- Максимальный ток – 5,1 кА;
- Габариты яра с опорными рамами – 4,8м×7,9м×6,2м;
- Общий вес – 360 тонн.

В 2017 году была завершена разработка яра и опорных рам соленоида PANDA. 3D модели, чертежи и расчеты утверждены FAIR и заключен контракт на изготовление конструкций с ОАО «СибМаш».

Была согласована криогенная схема питания соленоида, начата разработка криостата, катушек и криогенного распределительного бокса соленоида PANDA.

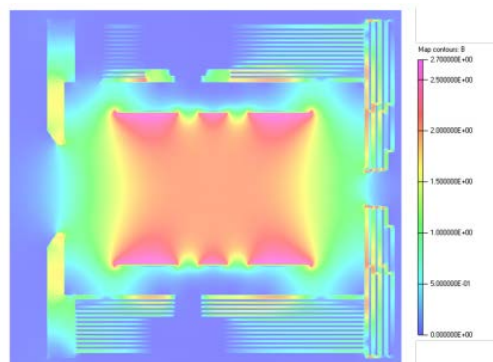


Рис. 5.8.3. Распределение магнитного поля соленоида PANDA.

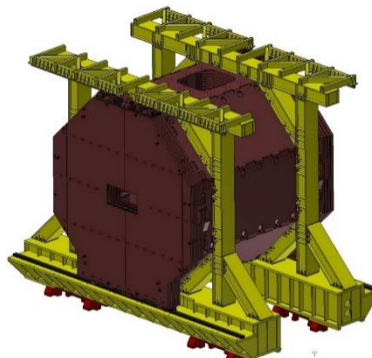


Рис. 5.8.3. 3D модель яра соленоида с раздвижными дверями и опорной рамой.

5.9.УСКОРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ВЭПП-4

5.9.1.Введение

Ускорительный комплекс ВЭПП-4 представляет собой уникальную установку для проведения экспериментов со встречными электрон-позитронными пучками по физике высоких энергий, экспериментов с выведенными пучками синхротронного излучения и жестких гамма-квантов, экспериментов по ядерной физике. В настоящее время комплекс ВЭПП-4 входит в состав Уникальной научной установки (УНУ) «Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000», в состав которой также входят электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-2000 и Инжекционный комплекс (ИК), предназначенный для производства пучков электронов и позитронов высокой интенсивности. Схема УНУ «Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000» показана на рис. 5.9.1.

Ускорительный комплекс ВЭПП-4 состоит из электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-4М (с энергией пучков до 5 ГэВ), многофункционального накопителя электронов и позитронов ВЭПП-3 (с энергией пучков до 2 ГэВ), канала транспортировки пучка ВЭПП-3 – ВЭПП-4. Схема комплекса ВЭПП-4 приведена на рис. 5.9.2, где показаны накопитель ВЭПП-3 (VEPP-3), коллайдер ВЭПП-4М (VEPP-4M), а также обозначены основные экспериментальные установки: KEDR – универсальный магнитный детектор КЕДР, предназначенный для проведения экспериментов по ФЭЧ, Deuteron – установка Дейтон, созданная для проведения экспериментов по ядерной физике, SR – экспериментальные залы для проведения экспериментов с использованием СИ, ROKK-1M – экспериментальный зал для экспериментов с выведенными пучками жестких гамма-квантов, где, в том числе, расположена установка «Выведенный пучок».

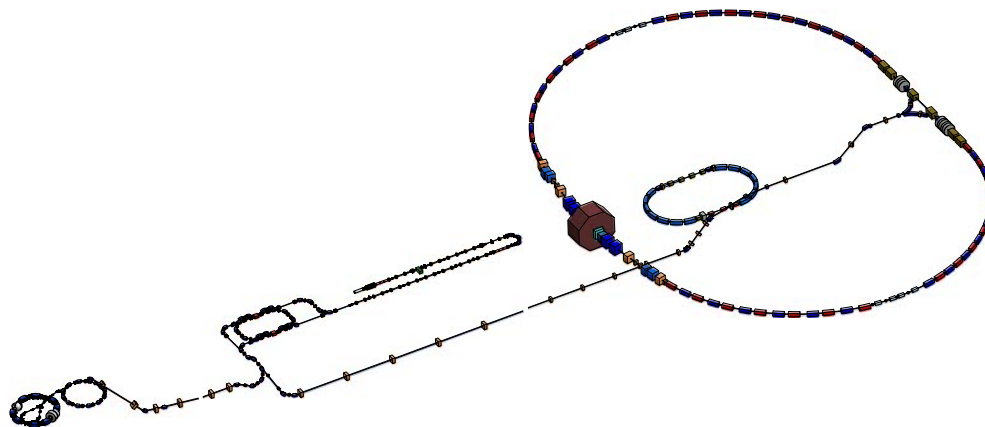


Рис. 5.9.1: Схема УНУ ВЭПП-4 и ВЭПП-2000

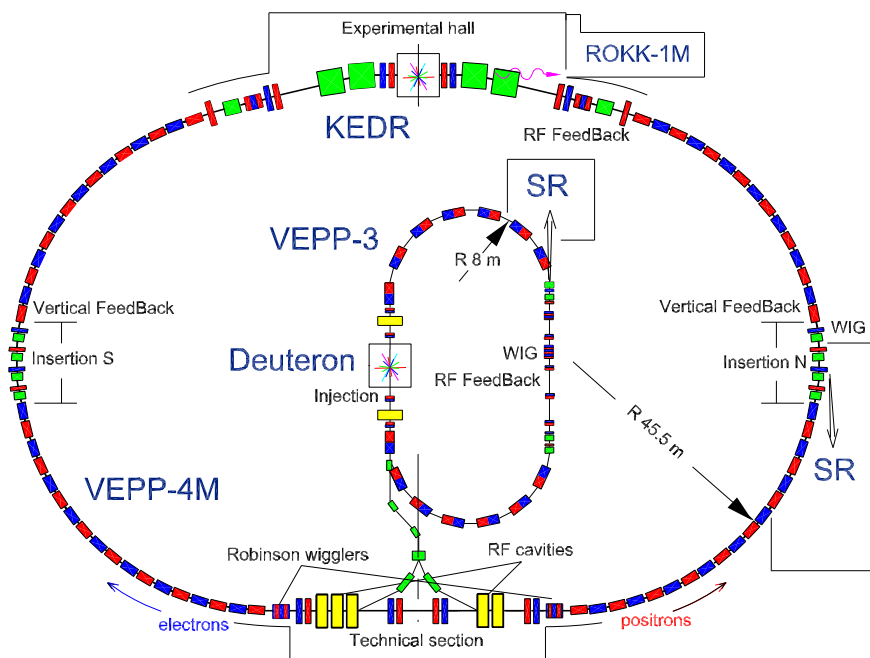


Рис. 5.9.2: Схема комплекса ВЭПП-4.

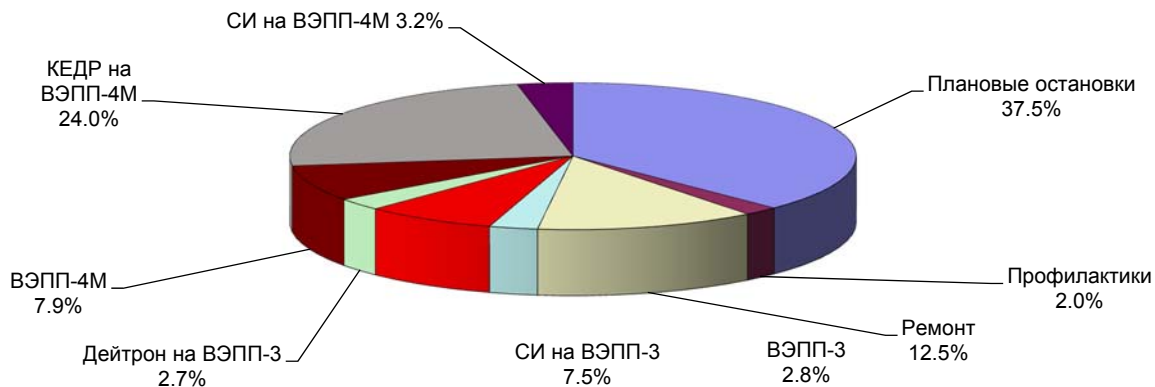


Рис. 5.9.3: Распределение рабочего времени на комплексе ВЭПП-4 в 2017 году.

На рис. 5.9.3 представлена диаграмма распределения рабочего времени в 2017 году. К началу 2017 года была завершена работа по запуску Инжекционного комплекса с комплексом ВЭПП-4 и начата регулярная экспериментальная программа. Как и в предыдущие годы, временной цикл работы комплекса равняется 4 неделям, из которых 3 недели отводятся на эксперименты по ФЭЧ со встречными пучками на коллайдере ВЭПП-4М с детектором КЕДР и 1 неделя для экспериментов по СИ. Эксперименты с установкой «Выведенный пучок» выделялись по мере необходимости и на диаграмме входят во время, отведенное для экспериментов с детектором КЕДР. Эксперименты на установке Дейтрон проводились с 9 по 30 октября 2017 года (3 недели). Затем было выделено 4 недели на запуск ВЭПП-3 с новым программным обеспечением, получения генерации из новой гибридной змейки в ВЭПП-4М (см. п. 5), ввод в строй модернизированного ВЧ-генератора ВЭПП-4М (см. п. 6). С 27 ноября 2017 начата регулярная работа по ФЭЧ и СИ. Регулярные профилактические работы выполняются еженедельно. Плановая летняя остановка была с 30 июня по 9 октября 2017 года.

5.9.2. Работа ВЭПП-4 с Инжекционным комплексом.

В 2016 году комплекс ВЭПП-4 начал работу с новым высокоинтенсивным электрон-позитронным Инжекционным комплексом (ИК), который был введен в строй в этом же году. Осенью 2016 года собственный инжектор ПОЗИТРОН был выведен из эксплуатации, и были начаты работы по монтажу финального участка транспортного канала ИК (рис. 5.9.4) и запуску оборудования.

ИК комплекс состоит (см. рис. 5.9.1) из источника электронов (электронная термо-пушка), линейного ускорителя электронов, конверсионной системы, линейного ускорителя позитронов, накопителя-охладителя (НО) и транспортных каналов. Накопитель-охладитель инжекционного комплекса связан с накопителем ВЭПП-3 с помощью транспортного канала К-500, состоящего из участка спуска, длинного прямолинейного канала, участка

подъема в зал ВЭПП-3. Схематический вид участка подъема показан на рис. 5.9.1. Энергия инъекции в ВЭПП-3 возросла с 350 МэВ до 390 МэВ.

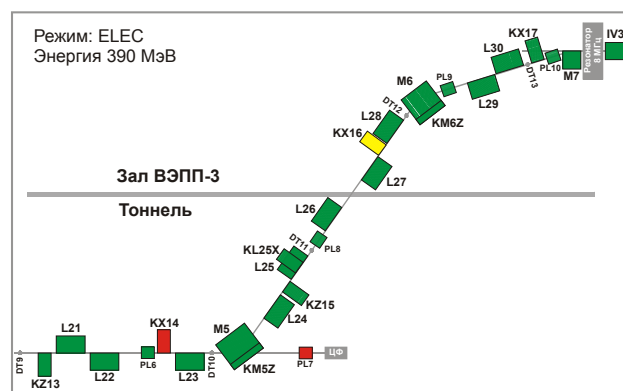


Рис. 5.9.4: Схема финального участка канала К-500 в направлении ВЭПП-3.

Магнитные элементы канала, питание которых расположено на территории комплекса ВЭПП-4 состоят из следующих элементов.

1. Поворотных магнитов М5 (45°) и М6 (32°), которые запитаны от одного реверсивного ИСТа, максимальный ток 1,1 кА.
2. Четырех постоянных корректоров КZ13, КX14, КМ5Z, КМ6Z. Причем корректор КX14 выполняет роль магнита, поворачивая пучок на 5,24 мрад, выводит пучок по радиусу на ось ВЭПП-3. Корректоры КМ5Z, КМ6Z являются корректирующими обмотками магнитов М5 и М6 соответственно. Корректоры запитаны постоянными источниками питания РА-3-2 (Довженко).
3. Десяти импульсных линз L21-L30 и 4 импульсных корректоров КZ15, КL25X, КX16, КX17, которые запитаны импульсными источниками питания ГИД-25.
4. Впускного септум-магнита М7 (13°). Апертура магнита $A_x=11$ мм, $A_z=9,5$ мм. Магнит запитан от ГИМНа 5М7 (бывший РМ4).

Так как энергия пучка, инжектируемого в ВЭПП-3, возросла (расчетное значение 500 МэВ), то потребовалось увеличить поле впускного септум-магнита до 1,61 Т. Для этого был изготовлен новый магнит М7. Это доработанный септум-магнит РМ4, использовавшийся для впуска в ВЭПП-3 от установки ПОЗИТРОН. Магнит имеет железный магнитопровод и расположен в вакуумном объеме, отделенном от камеры ВЭПП-3 впускной фольгой. Доработка РМ4 обусловлена необходимостью увеличения механической прочности «ножа». Чертеж магнита и измеренное продольное распределение магнитного поля представлены на рис. 5.9.5.

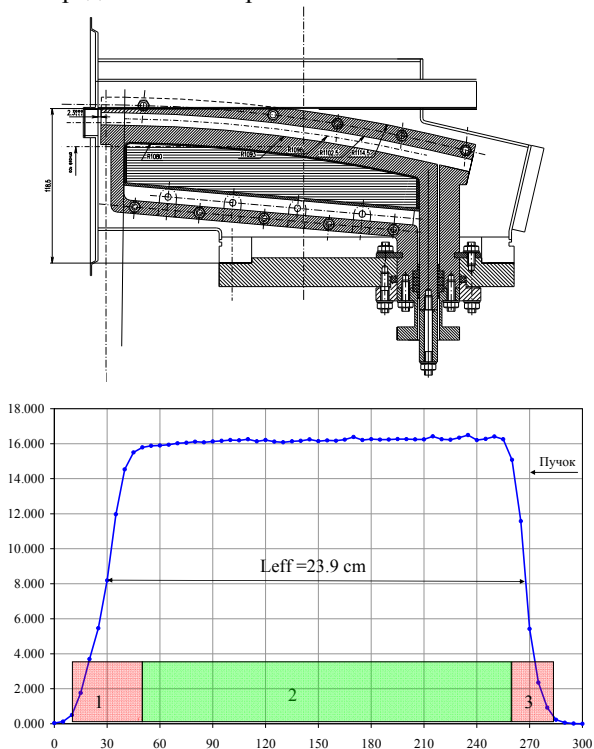


Рис. 5.9.5: Сечение впускного магнита М7 (вверху) и продольное распределение поля магнита М7 (внизу).

Для автоматизации работы комплекса ВЭПП-4 с инжекционным комплексом также потребовалось провести модернизацию системы управления, в том числе и системы синхронизации (см. п. 6).

21 октября 2016 года пучок электронов из ИК был захвачен в ВЭПП-3 и через два месяца были захвачены первые позитроны. 26 января 2017 года была получена первая светимость на коллайдере ВЭПП-4М с пучками электронов и позитронов из нового инжекционного комплекса. В это время скорость накопления в ВЭПП-3 электронов составила на уровне 1 мА/с, позитронов — 0,1 мА/с (см. таб. 5.9.1).

За 2017 год были оптимизированы режимы как канала К-500, так и ВЭПП-3. Стоит отметить хорошую стабильность инжекционного комплекса. КПД инъекции позитронов в ВЭПП-3 в регулярном режиме работы составляет 80-90%.

В обычном режиме работы инъекция в ВЭПП-3 происходит с частотой 1 выстрел за 2,5 секунды для электронов и 1 выстрел за 5 секунд для позитронов. При таком режиме работы скорость накопления электронов составляет 4 мА/с, а позитронов 0,5 мА/с. Кроме того, был опробован режим, при котором в 2 раза были увеличены частоты инъекции позитронов как в НО, так и в ВЭПП-3. В этом режиме был получен темп накопления в ВЭПП-3 на уровне 1 мА/с.

Таблица 5.9.1: Параметры режимов инъекции в ВЭПП-3.

	e ⁻	e ⁺	
Энергия	294	294	МэВ
Частота инъекции в НО	5	5 (10)	Гц
Частота инъекции в ВЭПП-3	0,4	0,2(0,4)	Гц
Скорость накопления в ВЭПП-3 на начало 2017 года	1	0.1	мА/сек
Скорость накопления в ВЭПП-3 на начало 2018 года	4	0,5(1)	мА/сек

5.9.3. Статус экспериментальных программ.

Эксперименты по ФЭЧ с детектором КЕДР

В 2017 году коллайдер ВЭПП-4М с детектором КЕДР завершил набор интеграла светимости в пике $\psi(3770)$ на энергии пучков 1885 МэВ. Всего было набрано 5 пб⁻¹. Для отслеживания энергии пучков было выполнено более 100 калибровок энергии пучков методом резонансной деполяризации с Тушековским поляриметром.

Ввод в строй Инжекционного комплекса решил проблему позитронного голода на ВЭПП-4М, которая уже ощущалась на этой энергии с собственным инжектором Позитрон. Высокая интенсивность ИК позволила копить более высокие токи за меньшее время. Тем самым поддерживать высокие токи в коллайдере (вблизи пороговых значений по эффектам встречи) в течение всего захода на светимость. Для подавления сброса тока при сведении пучков (инъекция новых пучков осуществляется в разведенном состоянии) была задействована система подавления вертикальных когерентных колебаний коллайдера ВЭПП-4М. Это позволило поднять пороговые токи по эффектам встречи (~ 4,5 мА в сгустке) и увеличить пиковую светимость с $2,2 \cdot 10^{30}$ до $3,3 \cdot 10^{30}$ см⁻²с⁻¹ (см. рис. 5.9.6). На эксперименте система подавления когерентных колебаний отключается, т.к. из-за шумовых эффектов электроники происходит увеличение вертикального фазового объема и светимость падает на величину ~ 15%. Стоит отметить также, что система подавления вертикальных когерентных колебаний используется при инъекции пучков в ВЭПП-4М, что позволяет бороться с нестабильностью нацеливания пучка. Включение и выключение системы подавления вертикальных когерентных колебаний происходит в автоматическом режиме.

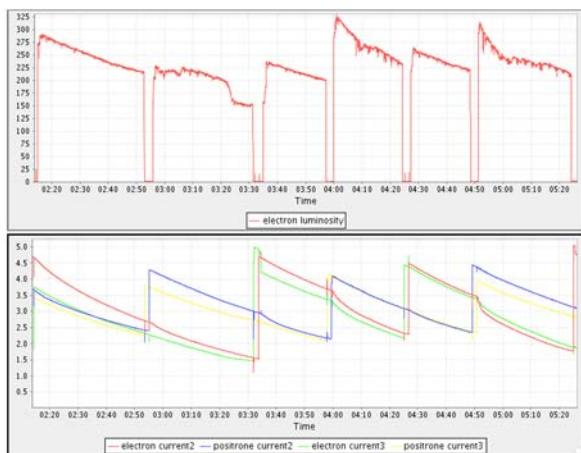


Рис. 5.9.6: Рекордная пиковая светимость в пике psi(3770).

В конце 2017 года коллайдер ВЭПП-4М завершил программу по физике высоких энергий с детектором КЕДР на низкой энергии пучков (1÷1,9 ГэВ). Начат цикл экспериментов по ФЭЧ в высокой области энергий коллайдера ВЭПП-4М (выше точки инжекции), что требует ускорения пучков частиц непосредственно в ВЭПП-4М. Первым экспериментом этого цикла является измерение сечения рождения адронов в диапазоне энергий пучков от 2,3 до 3,5 ГэВ.

Эксперименты с синхротронным излучением

Эксперименты с выведенными пучками синхротронного излучения проводятся на накопителях ВЭПП-3 и ВЭПП-4М.

На накопителе ВЭПП-3 основной режим СИ осуществляется на энергии пучка 2 ГэВ с полным током 120 мА в начале захода в одном или в двух сгустках. Время захода 3÷6 часов (в зависимости от требований экспериментов). Для генерации СИ используется поворотный магнит и трех-полюсный шифтер с полем 2 Т. Эксперименты проводятся на 9 каналах вывода СИ и еще один канал используется для двухмерной стабилизации точек излучения как в шифтере, так и в поворотном магните. Для экспериментов по литографии создан специальный режим на энергии 1,2 ГэВ с полем шифтера 1,2 Т.

На накопителе ВЭПП-3 была модернизирована система стабилизация пучка СИ. Новая система использует ССD-матрицу, которая позволяет стабилизировать по двум координатам (рис. 5.9.7). Разработано новое программное обеспечение.

На накопителе ВЭПП-4М проводятся эксперименты с мягким ультрафиолетом и мягким рентгеном на энергии пучка 1,9 ГэВ. В этом режиме используется СИ из поворотного магнита. Эксперименты в жесткой области СИ проводятся на высокой энергии накопителя ВЭПП-4М с использованием многополосной змейки (вигглера) NIW. Последнее несколько лет эксперименты проводились на энергии 4 ГэВ с полем 7-полюсной змейки 1,2 Т. Летом 2017 года вигглер NIW был заменен на новую гибридную 9-полюсную змейку с полем 2 Т (см. п. 5). Модернизация ВЧ-системы накопителя (см. п. 5)

позволила с осени 2017 года повысить энергию накопителя ВЭПП-4М до 4,5 ГэВ.

Эксперименты по СИ на ВЭПП-4М в основном проводятся в 2-х сгустковом режиме с полным током ~ 20 мА. Для изучения быстропротекающих процессов был реализован 8 сгустковый режим с равномерным распределением вдоль периметра накопителя (см. рис. 5.9.8). Для получения в 8 сгусткового режима использовалась стандартная схема инжекции (без использования пред-удара). Время накопления 8 сгустков составляет около 1 часа.

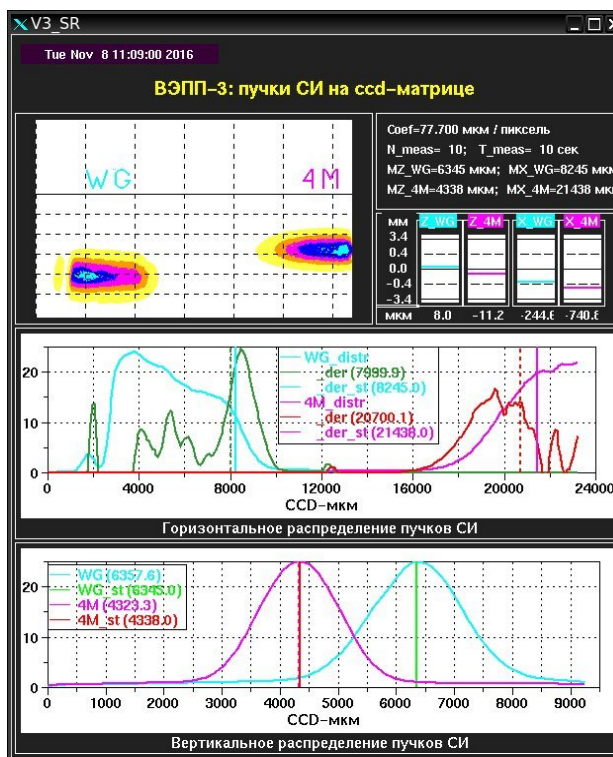


Рис. 5.9.7: Стабилизация пучка СИ на накопителе ВЭПП-3.

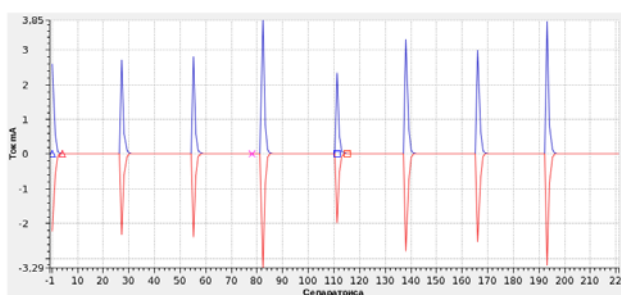


Рис. 5.9.8: Распределение тока в накопителе ВЭПП-4М

Дейтон

В октябре 2017 года на установке Дейтон был проведен тестовый заход в качестве подготовки к эксперименту по измерению тензорной анализирующей способности T20 реакции двухчастичной фотодезинтеграции дейтрона. Эксперимент планируется провести в три этапа с энергиями пучка электронов 0,8, 1.2 и 2 ГэВ.

В проведенном тестовом заходе использовался специально разработанный для этого эксперимента промежуток взаимодействия, который замещает промежуток выпуска в накопитель ВЭПП-4М. Во время работы установки Дейтон инжекция в ВЭПП-4М невозможна. Тестовый заход выполнялся на энергии пучка 0,8 ГэВ. Для регистрации продуктов взаимодействия использовался детектор промежуточной конфигурации.

Проведение первой стадии эксперимента запланировано на октябрь 2018 года.

5.9.4. Новая гибридная змейка для генерации СИ.

Эксперименты по СИ с пучками жестких фотонов на ВЭПП-4М проводятся с использованием специального электромагнита — вигглера NIW, который установлен во вставке северного полукольца накопителя между магнитами NIM3 и NIM4 (см. рис. 5.9.9). Канал вывод пучка СИ из вигглера направлен в специально оборудованный экспериментальный зал, размещенный

за стеной тоннеля ВЭПП-4М, на котором оборудованы несколько станций СИ.

Для повышения жесткости излучения и потока фотонов решено было изготовить новый гибридный вигглер (см. рис. 5.9.10) с большим числом полюсов и более высоким полем. Повысить пиковое поле удалось за счет: (1) уменьшения межполюсного зазора, (2) использования постоянным магнитов между полюсами вигглера, которые перераспределяют магнитный поток. Благодаря использованию постоянных магнитов данный магнит называется гибридным (см. рис. 5.9.11). В таблице 5.9.2 приведены сравнительные характеристики старого и нового вигглера.

Поле в вигглере состоит из $3\frac{1}{2}$ периодов полного поля замыкаемые полупериодом половинного поля. Последовательность полюсов: +1/2, -1, +1, -1, +1, -1, +1, -1, +1/2. Полюса изготавливаются из цельного куска электротехнической стали. Постоянные магниты из NbFeB.

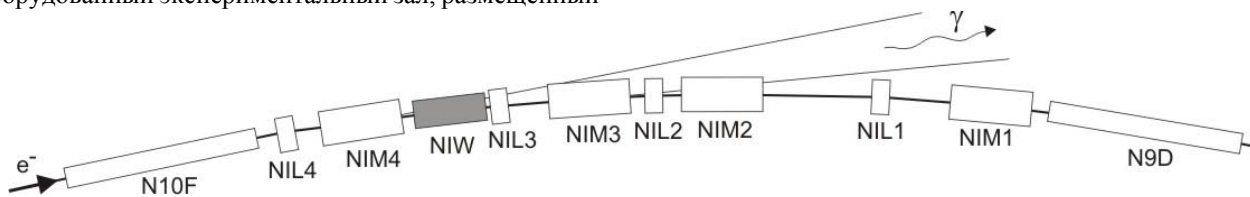


Рис. 5.9.9: Расположение вигглера NIW на кольце коллайдера ВЭПП-4М.

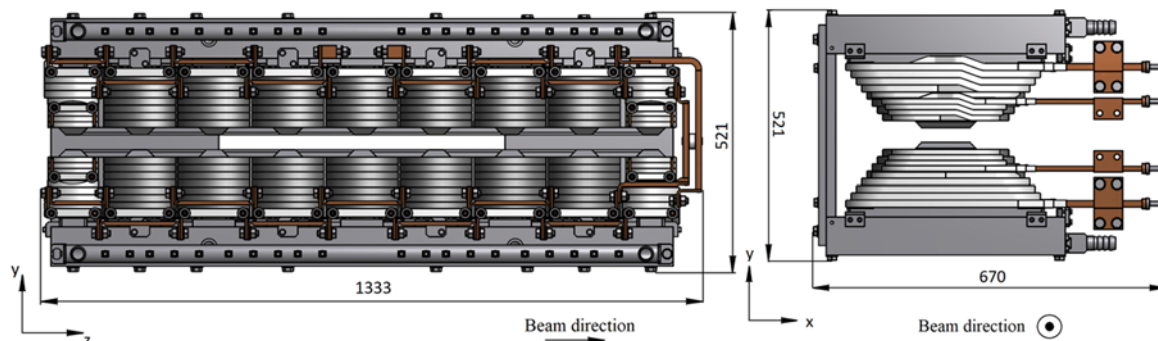


Рис. 5.9.10: Новый гибридный вигглер.

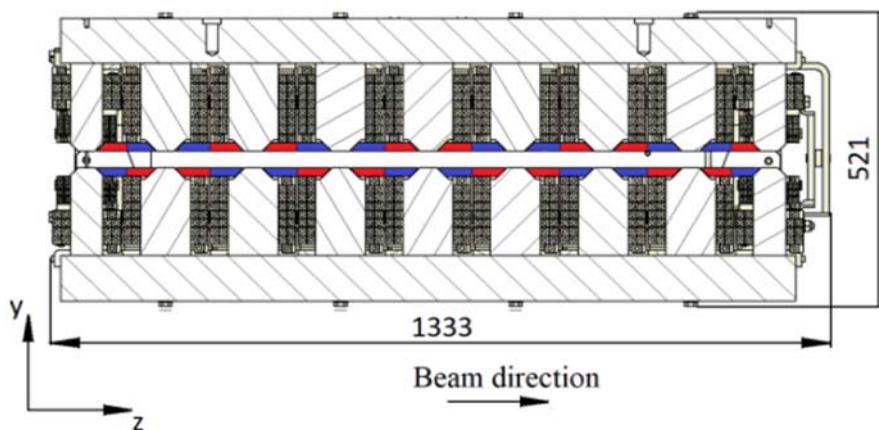


Рис. 5.9.11: Сечение вигглера с постоянными магнитами.

Таблица 5.9.2. Параметры старого и нового вигглера.

		старый	новый
B_{max}	T	1,2	1,9
Длина периода	см	20	15
Количество основных полюсов		5	7
Всего полюсов		7	9
Межполюсной зазор	см	4	3
Ток возбуждения	A	1800	2000
Падение напряжение	B	20	60

В качестве обмотки используется медная шинка сечением 13,5x13,5 мм. Обмотка основного полюса — 16 витков в 2-х слоях. Ток в основной обмотке — 2 кА. Боковые полюса имеют двухсекционную обмотку 8 витков от основного источника и 8 витков от корректирующего источника, индивидуальный для каждого бокового полюса. Вид полюсов и обмоток показан на рис. 5.9.12.

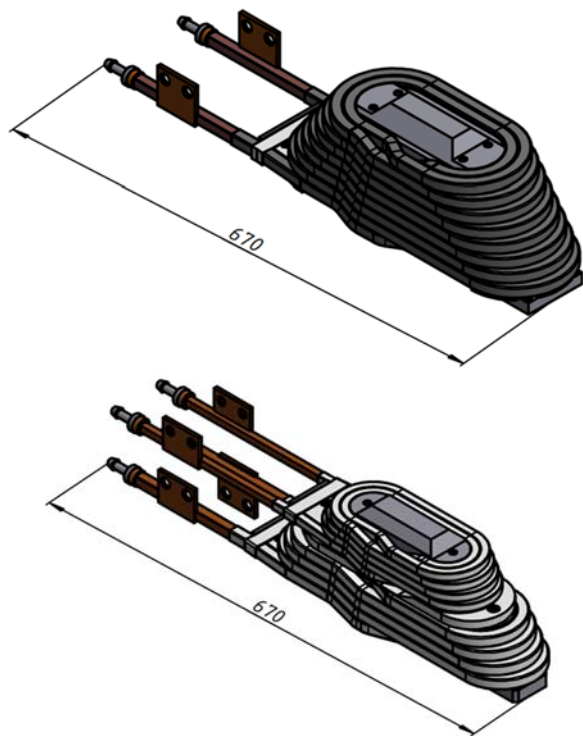


Рис. 5.9.12: Основной и боковой полюс.

Так как в новом вигглере был уменьшен межполюсной зазор, то для постановки на накопитель потребовалось также заменить вакуумную камеру в месте вигглера. Камера была спроектирована НКО с расчетом вывода пучка СИ из предыдущего магнита (по движению пучка электронов) в бункер СИ, а также сохранения вакуумного насоса в боковой части вигглера (см. рис. 5.9.13).

Новый вигглер NIW и вакуумная камера были произведены Экспериментальным производством ИЯФ СО РАН в начале 2017 года. Вестой этого года были выполнены магнитные измерения вигглера на стенде магнитных измерений, а летом вигглер с вакуумной камерой были установлены на кольцо

ВЭПП-4М. Осенью 2017 года осуществлены геодезическая выставка вигглера и примыкающих к нему магнитных элементов накопителя ВЭПП-4М.

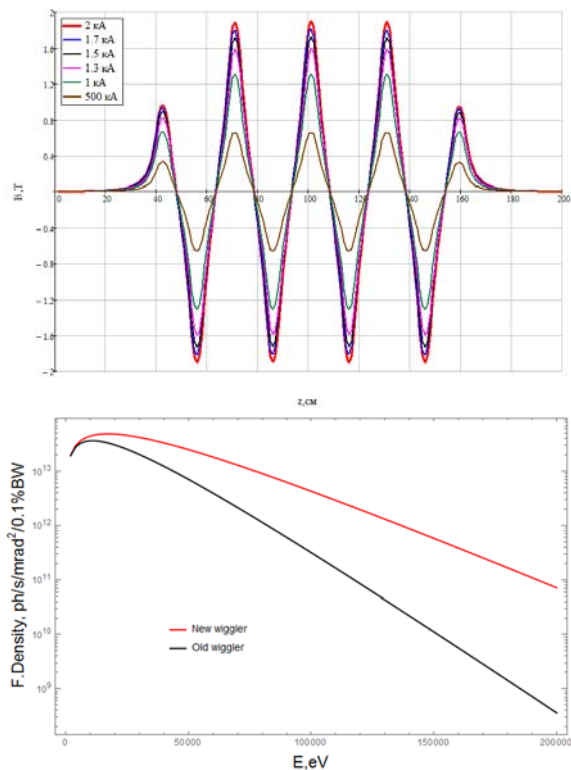


Рис. 5.9.13: Продольное распределение поля вигглера NIW для разных уровней тока возбуждения (верхний) и спектр излучения для старого и нового вигглера NIW (нижний).



Рис. 5.9.14: Вакуумная камера и вигглер NIW на накопителе ВЭПП-4М.

Для получения расчетного магнитного поля в вигглере NIW потребовалось произвести модернизацию системы постоянного питания вигглера NIW. Ток источника питания возрос с 1,8 кА до 2 кА, напряжение на выходе с 30 В до 60 В (падение напряжения на шинах до магнита составляет ~ 10 В). Для этих целей был заменен трансформатор источника питания, улучшена система стабилизации тока.

Для питания корректирующих обмоток вигглера NIW были введены в строй два новых источника постоянного тока ВЧ-1000 (с максимальным током до 1 кА, однополярные). Источники расположены рядом с вигглером NIW в северной комнате коррекции. Управление источниками — штатное (ЦАПИ-16).

Так как тепловая мощность, выделяемая на магните NIW, существенно возросла (с 30 кВт до 100 кВт), а также изменилось гидравлическое сопротивление обмоток магнита, то потребовалось произвести доработку в системе охлаждения ВЭПП-4М. Для этого были заменены входные и выходные коллекторы дистиллята на вигглере, перераспределен поток дистиллята между ветками охлаждающего контура ВЭПП-4М. Выполнены измерения перепада температуры и давления на вигглере на полном поле. Нагрев охлаждающего дистиллята на полном токе вигглера составил 11°C.

Возрастание поля вигглера привело также к увеличению мощности излучения, генерируемой вигглером. Расчеты показывают, что при токе пучка 20 мА и энергии частиц 4,7 ГэВ излучение из вигглера составит 900 Вт, а максимальная плотность мощности – 140 Вт/см².

Для обеспечения надежной защиты вигглера и вакуумной камеры доработана система термоконтроля накопителя ВЭПП-4М. Термодатчики установлены на каждой катушке вигглера, на входном и выходном коллекторах, а также на всех токовых неохлаждаемых перемычках катушек вигглера. Данная схема позволяет осуществлять непрерывное наблюдение за отдельными элементами вигглера, отслеживать равномерность охлаждения магнита. Также радиационностойкие термодатчики установлены на вакуумной камере вблизи вигглера, приемниках излучения и затворах СИ. Система термодатчиков включена в систему блокировок комплекса ВЭПП-4 и, при срабатывании, отключает основной и корректирующие источники питания вигглера NIW. Порог срабатывания термозащиты — регулируемый.

Кроме того, на каждую катушку вигглера установлено неуправляемое термореле (с порогом срабатывания 70°C), которое также подключено к системе блокировок комплекса ВЭПП-4 и не связано с автоматизированной системой термоконтроля.

16 ноября 2017 года была получена первая генерация СИ из вигглера NIW на максимальном поле на энергии пучка 4,5 ГэВ.

5.9.5. Модернизация ВЧ-системы накопителя ВЭПП-4М.

Для обеспечения достижения энергии частиц 4,75 ГэВ на коллайдере ВЭПП-4М была проведена модернизация ВЧ-системы (180 МГц), что включает разработку, создание и ввод в эксплуатацию следующих устройств:

1. дополнительного оконечного (6-го) каскада усиления для увеличения выходной мощности и напряжения ВЧ, подаваемого на ускоряющие резонаторы коллайдера,

2. нового управляемого модуля генерации ВЧ для возбуждения системы усиления (модулятора).

Блок-схема ВЧ-системы ВЭПП-4М представлена на рис. 5.9.15, на котором элементы, созданные в ходе модернизации, выделены серым цветом. Предварительные каскады усиления (2-4 каскады) выполнены на триодах ГИ-50 и тетроде ГУ-92А. Далее сигнал усиливается двухмодульным каскадом (5 каскад), выполненным на мощных отечественных тетродах ГУ-101А.

В течение 2017 года были выполнены следующие работы:

- разработан, изготовлен, настроен и введен в эксплуатацию новый модулятор для управления амплитудой ВЧ,
- демонтирован старый тракт соединения выходных каскадов, смонтирован новый тракт (фидер), соединяющий общий анодный контур 5-го каскада с волноводной системой возбуждения нового 6-го каскада,
- смонтирован фидер, соединяющий общий анодный контур 6-го каскада с магистральным волноводом, подводящим мощность ВЧ к ускоряющим резонаторам,
- выполнена сборка и настройка дополнительных источников питания модернизированного генератора,
- произведена калибровка датчиков напряжения на резонаторах, добавлены новые и проверены все используемые измерительные цепи, произведена тренировка резонаторов, на которых в итоге было получено суммарное напряжение 4 МВ.

В результате проделанной работы задействован новый 6-ой каскад ВЧ-системы (см. рис. 5.9.16), в котором используется 4 модуля с тетрами ГУ-101А. Последующая настройка выходного каскада позволит ускорять в коллайдере ВЭПП-4М токи до 100 мА до энергии 4,75 ГэВ. В настоящее время получена выходная мощность ВЧ 400 кВт, что в два раза превышает параметры предыдущего варианта системы. Максимальное ВЧ напряжение возросло с 2 МВ до 4 МВ.

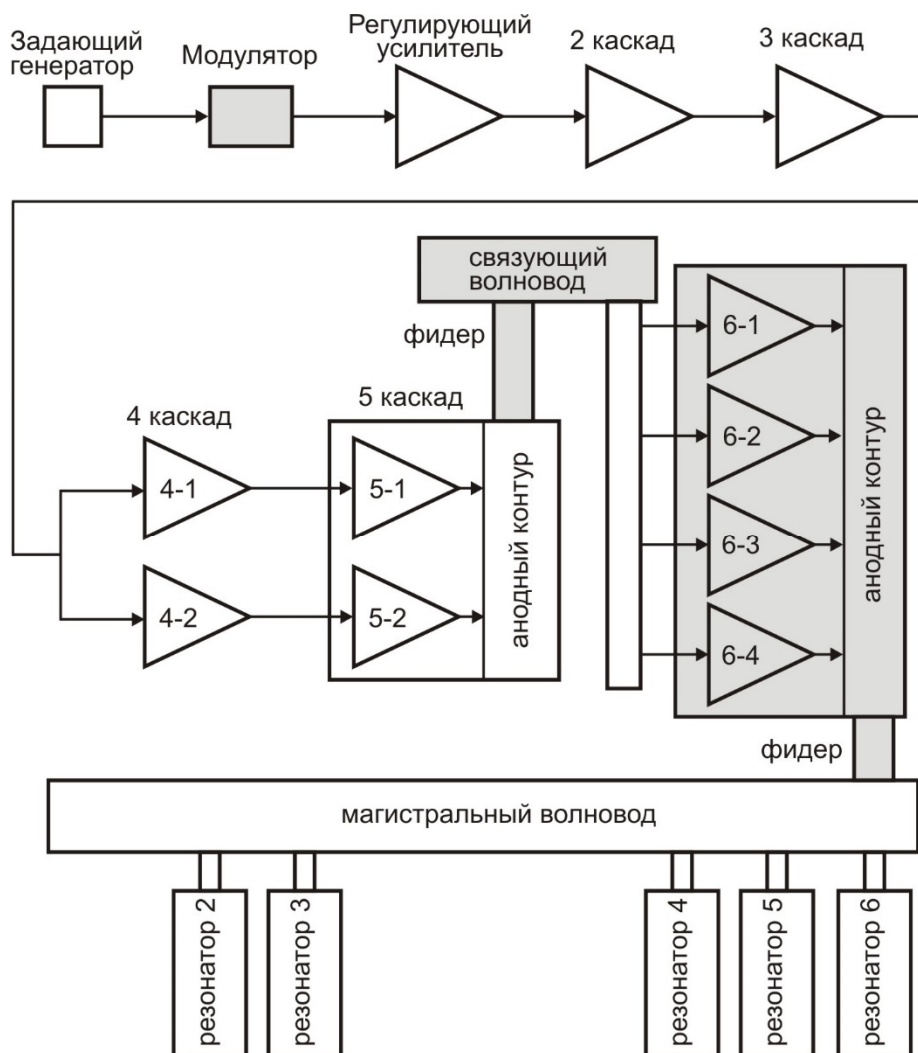


Рис. 5.9.15: Блок-схема ВЧ-системы коллайдера ВЭПП-4М.



Рис. 5.9.16: Запуск 6 каскада ВЧ-системы коллайдера ВЭПП-4М.

5.9.6. Модернизация системы управления комплекса.

План модернизации системы управления ВЭПП-4 предполагает постепенную, по возможности — без остановки работы комплекса, замену КАМАК-аппаратуры и КАМАК-контроллеров (одрят), в настоящее время используемых на комплексе ВЭПП-4 в качестве основных управляющих машин, новой электроникой, подключенной к серверным компьютерам, работающим под управлением Linux, с созданием новых управляющих программ, размещающихся как в серверах, так и в мощных графических компьютерах, выполняющих функцию операторских машин. Развитие системы ориентировано на использование платформы EPICS. В этом направлении в 2017 году были выполнены следующие работы:

- отлажено и интегрировано в существующую систему программное обеспечение (ПО) для управления участком подъема канала К-500, подводящего пучок от нового инжекционного комплекса до ВЭПП-3, созданное с использованием

СХ; разработана система синхронизации переменных СХ с соответствующими переменными EPICS;

- заменено ПО для управления накопителем ВЭПП-3; логика работы и операторские функции теперь реализуются в РС, а КАМАК-контроллер одренок выполняет только взаимодействие с аппаратурой (см. рис. 5.9.17); таким образом сделан шаг по подготовке замены используемой аппаратной структуры на базе КАМАК, а также расширены возможности по управлению накопителем;
- создана структура серверов EPICS (IOC), содержащих данные о различных параметрах комплекса, а также на базе EPICS разработано и внедрено в работающую систему серверное программное обеспечение для взаимодействия с новой электроникой диагностики пучка: пикап-станциями и другими измерительными устройствами;
- внедрены в действие стоечные серверные компьютеры, выполняющие функцию файлово-загрузочных серверов, обеспечивающих работу всех компонентов системы управления: одрят и пультовых машин.

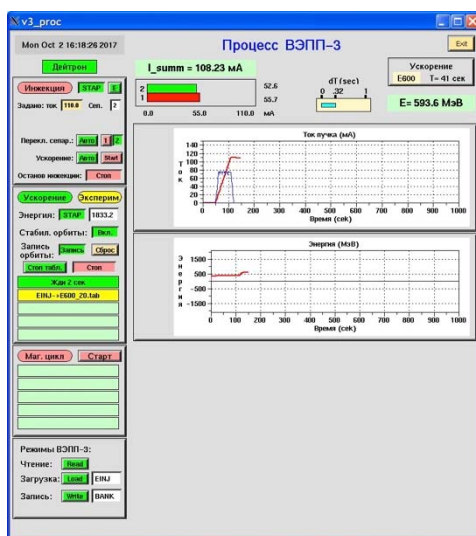
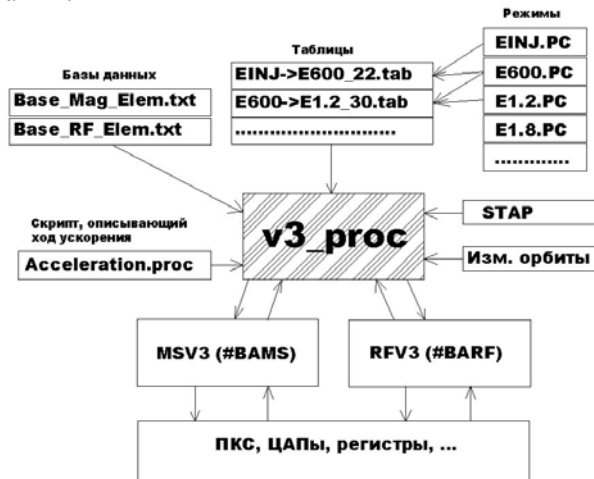


Рис. 5.9.17: Блок-схема программ ВЭПП-3 и окно программы автоматического процесса ВЭПП-3.

Для обеспечения взаимодействия накопителя ВЭПП-3 и нового инжекционного комплекса была модернизирована система синхронизации пуска пучка в накопитель (см. рис. 5.9.18):

- разработана система передачи синхросигналов от инжекционного комплекса на ВЭПП-3,
- изготовлен и отлажен новый блок сведения частот для обеспечения перепуска пучка в момент установления правильного совпадения фаз ВЧ в накопителе-охладителе инжекционного комплекса и в ВЭПП-3.

На рисунке 5.9.19 представлена диаграмма расстановки по времени основных синхроимпульсов, обеспечивающих перепуск пучка. Система перепуска использует тактовые импульсы 8,53 кГц, генерируемые в момент совпадения фаз ускоряющего ВЧ в накопителе-охладителе и в ВЭПП-3. На накопителе-охладителе в момент появления одного из тактовых импульсов вырабатывается сигнал “старт выпуска”, который запускает управляемую задержку старта дефлектора накопителя-охладителя, который происходит примерно через 6 мс. Импульс старта также отправляется на ВЭПП-3 и запускает задержку длительностью примерно 5,8 мс для срабатывания инфлектора ВЭПП-3. За время этой задержки запускаются импульсные элементы канала транспортировки пучка К-500 (см. п. 2) таким образом, что токи в импульсных элементах канала достигают своего максимума именно в момент перепуска пучка. По окончании указанной задержки запускаются генераторы дополнительной задержки ГЗИ (точность регулировки задержки 0,1 нс), с помощью которых время срабатывания пластин инфлектора ВЭПП-3 точно ставится на момент влета в накопитель пучка, прошедшего по каналу транспортировки. Для установки правильной ускоряющей фазы ВЧ ВЭПП-3 предусмотрена возможность ее регулировки.

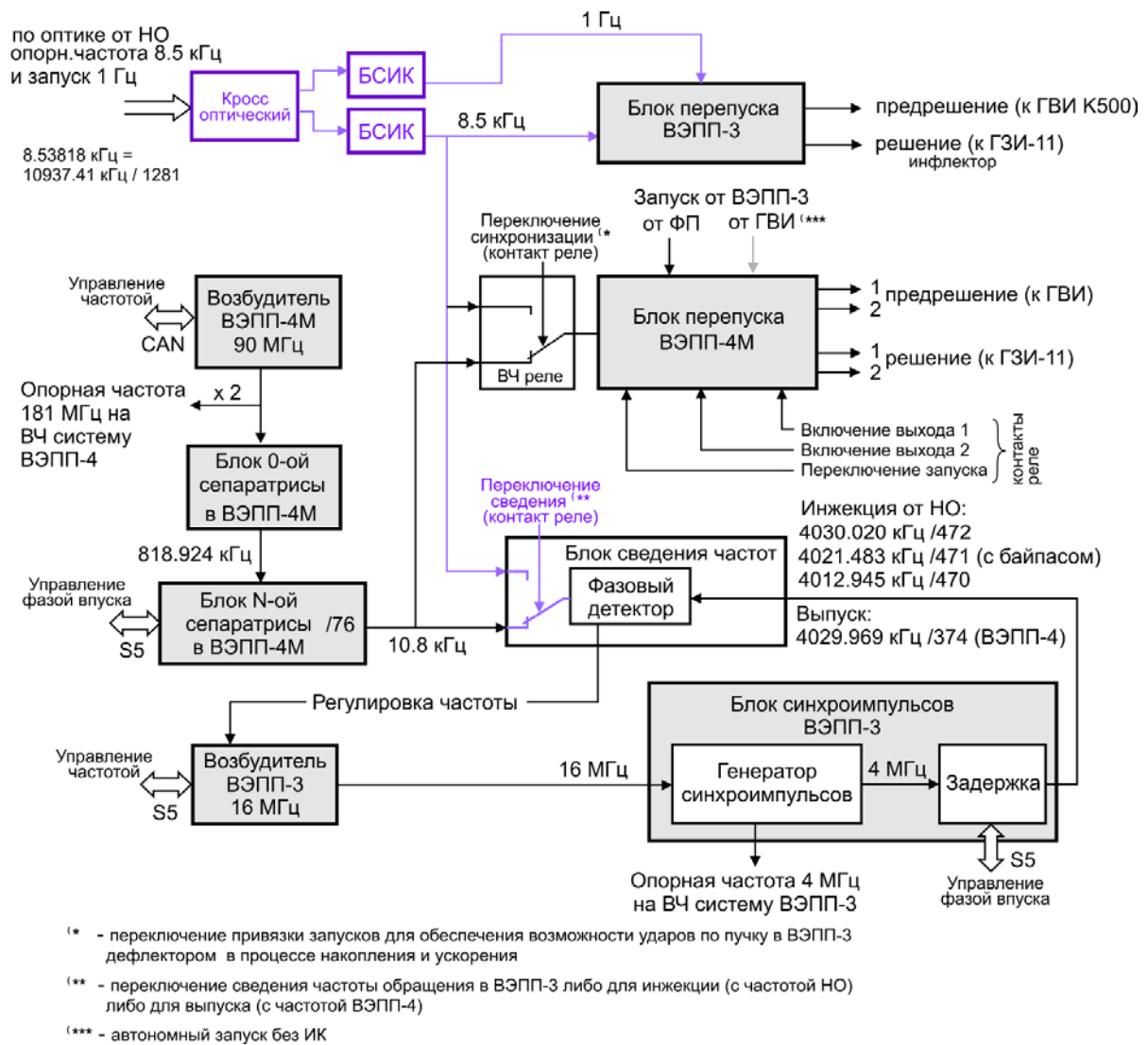


Рис. 5.9.18: Схема синхронизации комплекса ВЭПП-4.

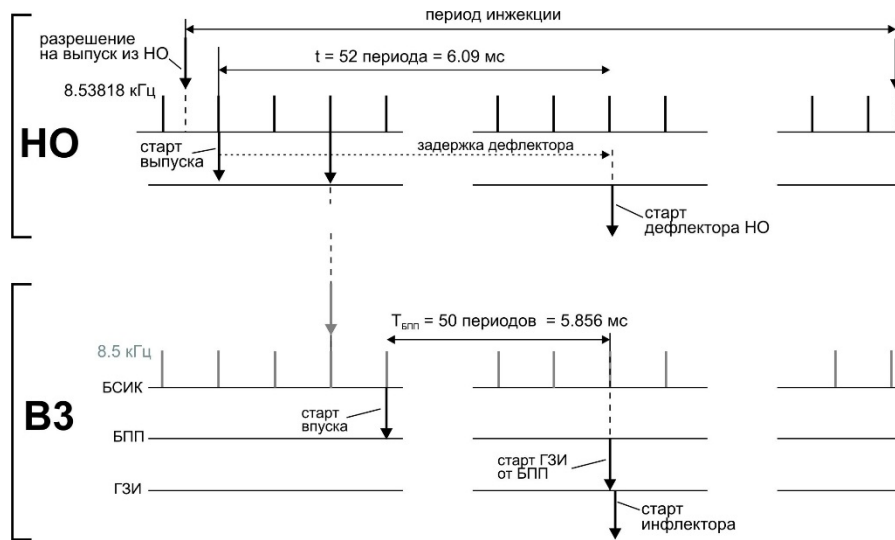


Рис. 5.9.19: Диаграмма синхросигналов, вырабатываемых для обеспечения перепуска пучка из накопителя-охладителя в ВЭПП-3.

5.9.7. Новая система измерения положения пучка.

В 2017 году на комплексе ВЭПП-4 завершено переоборудование электроники для обработки сигналов с электростатических датчиков (пикапов): установлено 54 новых пикап-станции на коллайдере ВЭПП-4М и 20 пикап-станций на накопителе ВЭПП-3.

Для накопителя ВЭПП-4М была разработана широкополосная система измерения положения пучка. Широкая полоса электроники (200 МГц) позволяет измерять положение встречных сгустков электронов и позитронов, несмотря на то, что минимальное время между сгустками, пролетающими через пикапы вблизи мест встречи, составляет 18 нс. Все 54 пикапа оборудованы соответствующими пикап станциями, которые изготовлены в трех версиях: с полосой 210 МГц, 105 МГц и 35 МГц. Пикап-станции с максимальной полосой (210 МГц) используются для пикапов, расположенных вблизи 4-х мест встречи, пикап-станции с минимальной полосой (35 МГц) используется для пикапов, расположенных вдали от мест встречи.

Пикап-станция выполнена в формате 1U евромеханика и располагается в непосредственной близости (длина сигнальных кабелей < 1 м) от пикапа. Каждый блок имеет собственный блок питания 220 В. Управление пикап-станцией осуществляется через интерфейс Ethernet 100 Мбит/сек. Для синхронизации пикап-станции используются 3 синхросигнала: ВЧ-частота (180 МГц), частота обращения (сигнал нулевой сепаратрисы (819 кГц) и запуск пооборотных измерений — импульс, от которого запускается система перепуска/удара. Внешний вид блока приведен на рис. 5.9.20.

Новая пикап-станция позволяет осуществлять:

- измерения тока и среднего положения пучка для всех сгустков, одновременно циркулирующих в коллайдере;
- пооборотные измерения выбранного сгустка во время инжекции нового пучка или после удара кикером циркулирующего сгустка, а также запуск в произвольный момент времени без возбуждения сгустка;
- режим «время-назад» — непрерывные пооборотные измерения выбранного сгустка.

В основном режиме работы 1 раз в секунду для ВЭПП-4М и 3 раза в секунду для ВЭПП-3 происходит измерение усредненного положения всех сгустков частиц, циркулирующих в коллайдере и в накопителе. Для основного вида измерений проводится сканирование вблизи текущих настроек с целью проверки их оптимальности. В случае запроса от системы управления выполняются пооборотные измерения. Оставшийся резерв времени используется для проведения фоновое сканирование для получения осциллограмм с датчиков пучка и измерения распределения тока по сепаратрисам. Существует режим для измерения низкочастотных колебаний пучка. В этом режиме для выбранного сгустка устанавливается время измерения в 5 мсек, что позволяет измерять колебание пучка в диапазоне $10^{-3} \div 100$ Гц.

В Таблице 5.9.3 приведены некоторые параметры системы измерения положения пучка ВЭПП4. На рис. 5.9.21 приведен пример измерения тока всех четырех сгустков в коллайдере.

Так как накопитель ВЭПП-3 может работать только с одной полярностью частиц (либо электроны, либо позитроны), то для ВЭПП-3 был разработан другой тип пикап-станции: с узкой полосой (около 8 МГц). Ключевым элементом данной электроники является так называемая “матрица ключей”, позволяющая подключать каждый из 4-х электродов пикапа к каждому из 4-х каналов обработки сигналов. Данный метод позволяет исключить погрешность, вызванную неодинаковостью коэффициентов передачи каналов, и за счет этого достичь уровня точности измерений поперечного положения пучка порядка 1 микрона. Обработка сигналов пикапа включает в себя выделение 18-й гармоники частоты обращения $18 F_0$ (72.54 МГц) с помощью полосового фильтра с полосой около 8 МГц. Цифровая обработка сигналов, выполняемая в FPGA, состоит из синхронного детектирования и накопления. Пикап-станция для ВЭПП-3, также, как пикап-станция для ВЭПП-4, обеспечивает либо измерения орбиты пучка, либо пооборотные измерения. Пикап-станция выполнена в корпусе евромеханика высотой 1U и шириной 19 дюймов.



Рис. 5.9.20: Внешний вид пикап-станции ВЭПП-4.

Таблица 5.9.3: Основные параметры системы измерения положения пучка.

Параметр	Значение
Энергия частиц	1-6 ГэВ
Кол-во ступок электронов и позитронов	4
Частота обращения	0,819 МГц
Частота ВЧ	181,8 МГц
Количество датчиков	54
Разрешение измерения положения пучка	3-6 мкм
Разрешение в пооборотном режиме	15-30 мкм
Смещение измеренного положения от тока пучка 0,5-20 мА	40-60 мкм
Ошибка, связанная с влиянием «хвоста» от встречных частиц в близи мест встречи	< 100 мкм
Зависимость от температуры	< 2 мкм/С°

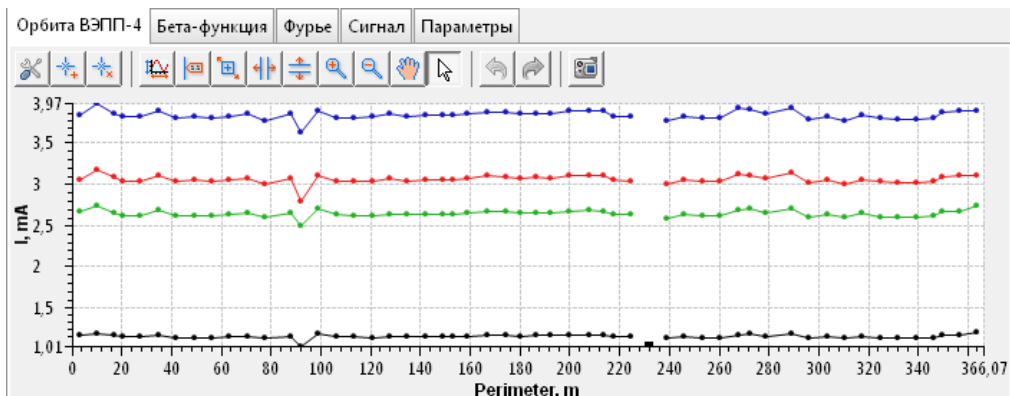


Рис. 5.9.21: Измерения тока ВЭПП4.

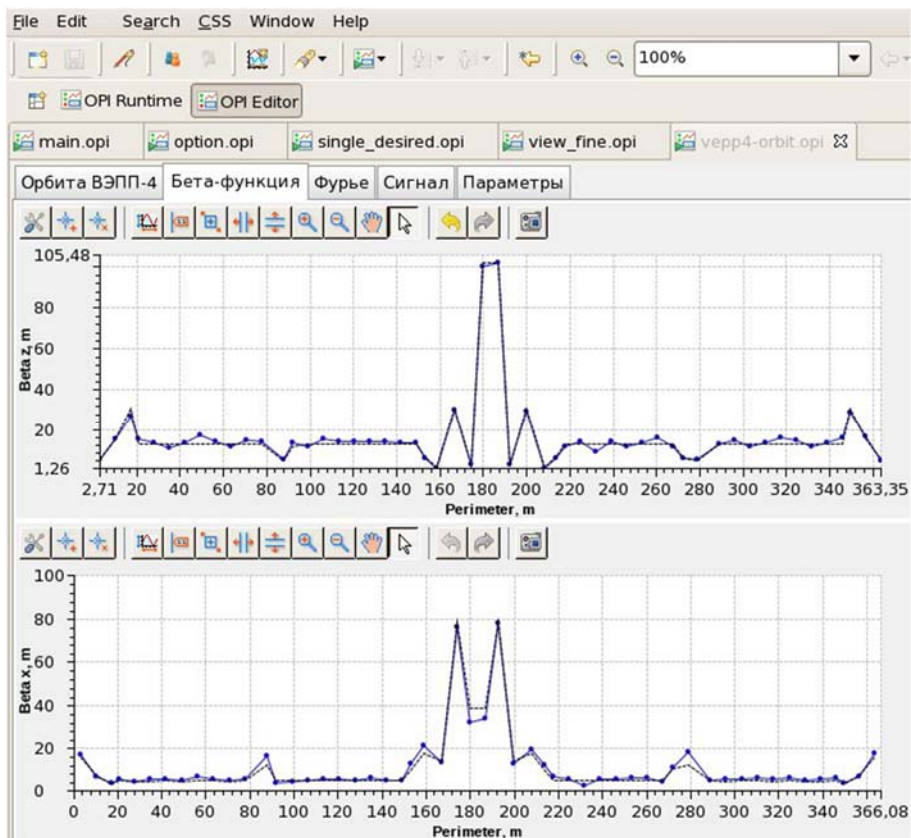


Рис. 5.9.22: Операторское окно, выводящее измерения бета-функций.

Каждая пикап-станция размещается около соответствующего пикапа и соединяется с пикапом четырьмя кабелями длиной ~ 1 м. Каждый блок имеет собственный блок питания 220 В. Управление пикап-станцией осуществляется через Ethernet 100 Мбит/сек. Основные параметры точности измерений приведены в Таблице 5.9.4.

Таблица 5.9.4. Параметры точности измерений блока электроники для ВЭПП-4М при среднем токе пучка $2 \div 150$ мА ($X, Z \approx 25$ мм).

Разрешение медленных измерений	0,2-1 мкм
Разрешение пооборотных измерений	2-10 мкм
Зависимость результата измерения от тока пучка	< 10 мкм
Зависимость результата измерения от температуры	< 1 мкм/°С

Программное обеспечение для электроники системы измерения положения пучка написано с использованием программной платформы EPICS. Каждый блок электроники управляется собственным ИОС (Input/Output Controller). Помимо основных существует ряд вспомогательных ИОС, которые выполняют обработку данных и служат для централизованного управления всей системой измерения положения пучка в целом.

Внедрение новой электроники пикапов позволило создать программную систему оперативного измерения величины бета-функций в местах расположения пикапов. Система базируется на EPICS и включает в себя ИОС, использующие данные, полученные от пикап-станций, и операторские экраны, написанные с использованием CSS (Control System Studio), обеспечивающие отображение данных и результатов вычислений (см. рис. 5.9.22), а также конфигурирование системы.

Обработка данных основывается на быстром преобразовании Фурье с уточнением результата, при котором для каждого пикапа вычисляются амплитуда и фаза бетатронных колебаний пучка. Когерентные колебания заданного сгустка частиц возбуждаются с помощью срабатывания пластин одного (электронного или позитронного) из инфлекторов ВЭПП-4М. За один раз с выполнением одного «удара» по пучку измеряются бета-функции по всему периметру кольца коллайдера.

С внедрением этой системы была задействована программа, позволяющая корректировать бета-функцию по всему кольцу к некой расчетной бета-функции. Поскольку программа успешно корректирует бета-функцию, выполняя итерации, составляющие только малую часть от очередного вычисленного шага, что требует многочисленных и достоверных измерений, то использование этой программы стало возможным только после успешного внедрения новой системы измерений положения пучка.

5.9.8. Системы оптической диагностики пучка.

В течение 2017 году на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М проводились эксперименты по ускорительной физике с использованием стрик-камеры PS-1/S1. Этот прибор поступил в Институт в конце 2016 года и к настоящему времени стал штатным средством диагностики на ускорителях ИЯФ. В частности, с помощью стрик-камеры исследовалась инжекция пучка в накопитель-охладитель и ВЭПП-3.

В экспериментах на ВЭПП-4М изучалась зависимость энергетического разброса пучка в зависимости от энергии (рис. 5.9.23, 5.9.24). Полученные значения хорошо соответствуют модельным расчетам с учетом эффекта Тушека (рис. 5.9.24). Кроме того, был измерен широкополосный продольный импеданс вакуумной камеры (Табл. 5.9.5).

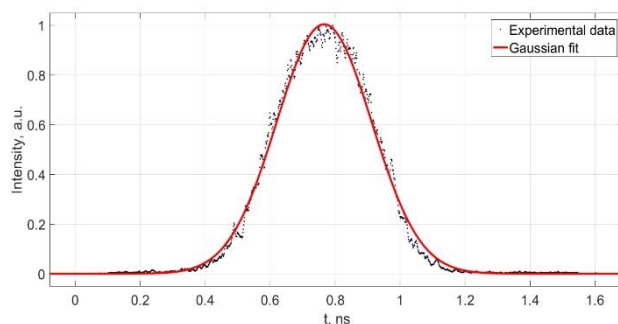


Рис. 5.9.23: Продольный профиль пучка в ВЭПП-4М, зарегистрированный стрик-камерой.

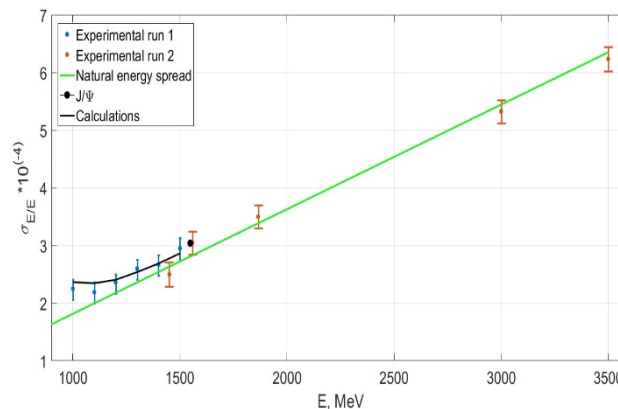


Рис. 5.9.24: Зависимость энергетического разброса пучка от энергии. Черная точка – данные КЕДРa по ширине J/ψ мезона.

Таблица 5.9.5: Измеренная величина широкополосного импеданса ВЭПП-4М

E, МэВ	Пороговый ток, мА	Пороговый размер, см	Импеданс, Ω
1200	$0,3 \pm 0,07$	$3,4 \pm 0,2$	$6 \pm 1,2$
1300	$0,4 \pm 0,07$	$3,3 \pm 0,2$	$5,9 \pm 1,2$
1865	$0,95 \pm 0,15$	$3,35 \pm 0,2$	$6,3 \pm 1,2$

Регулярные измерения длительности электронного и позитронного пучков на комплексе ВЭПП-4 производятся с помощью электронно-оптических диссекторов. Их временное разрешение существенно уступает временному разрешению стрик-камеры, однако эти приборы весьма надежны и удобны для качественного контроля за поведением продольного профиля пучков, в частности, за моментами возникновения фазовых колебаний. В 2017 году произведена автоматизация измерений сигналов с диссекторов, которые прежде регистрировались на осциллографрах, и написано программное обеспечение для непрерывных измерений длины пучков (рис. 5.9.25 и 5.9.26).

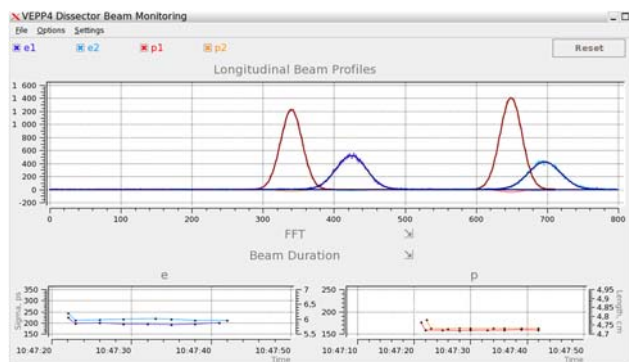


Рис. 5.9.25: Окно программы обработки сигналов с диссекторов ВЭПП-4М.

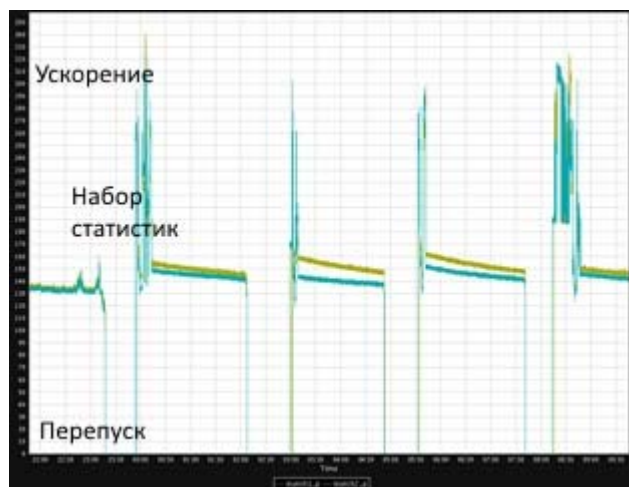


Рис. 5.9.26: Зависимость длины позитронных банчей (в пикосекундах) в течение смены работы ВЭПП-4М.

5.9.9. Модернизация системы измерения энергии коллайдера ВЭПП-4.

Измерение энергии пучка коллайдера ВЭПП-4М необходимо для экспериментов по физике элементарных частиц с детектором КЕДР. В диапазоне энергий пучка до 2 ГэВ энергия измеряется методом резонансной деполяризации (РД) с тушековским поляриметром. Свыше 3,5 ГэВ для измерения поляризации пучка используется лазерный

поляриметр. В 2017 году предложен проект модернизации системы сбора данных тушековского и лазерного поляриметров с использованием электроники VME производства САЕН.

Тушековский поляриметр представляет собой 8 сцинтилляционных счётчиков, расположенных попарно на разных азимутах кольца ВЭПП-4М. В полностью работоспособном состоянии он должен регистрировать интенсивность внутрисгусткового рассеяния от 4 одновременно циркулирующих сгустков в ВЭПП-4М, а также совпадения сигналов с четырёх пар счётчиков. На имеющейся электронике КАМАК это реализовано в виде трех крейтов с примерно 40 блоками электроники. Новая электроника позволит ограничиться одним крейтом и 4 блоками.

Система управления лазерного поляриметра в значительной мере пересекается с установкой по лазерной калибровке системы регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) детектора КЕДР. Один крейт и несколько блоков будет осуществлять управление запуском 3х лазеров, управлением поляризацией одного из лазеров, выработку сигналов триггера для детектора фотонов лазерного поляриметра, регистрация (скорость счёта и амплитуду) сигнала со счётчиков TS4-, TS4+ системы регистрации рассеянных электронов, а также систему блокировки работы лазера. В настоящее время ведётся закупка необходимой электроники.

Для измерения энергии накопителя ВЭПП-4М в промежутках между калибровками энергии по резонансной деполяризации (РД) предложен метод, основанный на лазерной калибровке параметров магнитного спектрометра при помощи нескольких длин волн и детектора рассеянных обратно комптоновских фотонов. В настоящее время имеются все элементы для экспериментальной проверки методики. Координата рассеянных фотонов будет определяться координатным детектором «Лазерного поляриметра». Энергия пучка определяется методом РД. Ожидаемая точность определения энергии в текущей конфигурации составляет 10^{-4} . Для расширения диапазона измеряемых энергий до 5 ГэВ необходимо установить ещё один импульсный лазер с длиной волны около 700 нм.

6

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И
ЛАЗЕРЫ НА СВОБОРДНЫХ
ЭЛЕКТРОНАХ

6.1. РАБОТА НА ПУЧКАХ СИНХРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В отчете представлены результаты некоторых работ по обеспечению и развитию исследовательских методов с использованием синхротронного излучения на экспериментальных станциях Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения в 2017 году.

Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения обеспечивает возможность использования мощных аналитических методик с использованием синхротронного излучения для широкого круга исследовательских групп из научно исследовательских институтов, университетов и производственных учреждений Сибирского региона и из других областей России.

Часть действий по модернизации существующих экспериментальных установок и созданию новых производится в рамках поддержки проектов центров коллективного пользования, но некоторые определенные операции проводятся в рамках базового финансирования ИЯФ СО РАН в соответствии с планом исследований.

Описание данной активности в 2017 году представлено в текущем отчете.

Для выполнения исследований на пучках синхротронного излучения (СИ) и терагерцового излучения (ТИ) за весь период реализации проекта было выделено 641 часов времени работы накопителя ВЭПП-3, 345 часа на накопителе ВЭПП-4М, и 650 часов на Новосибирском лазере на свободных электронах. Значительное сокращение во втором полугодии выделенного времени для работ синхротронным излучением, по сравнению с предыдущим годом, обусловлено проведением модернизации накопительного комплекса ВЭПП-3-ВЭПП-4М и связанными с этим эксплуатационными проблемами.

Исследования проводились на 11 экспериментальных станциях СИ и на 5 станциях ТИ. За весь период реализации проекта услугами Центра воспользовались 38 организаций в рамках реализации около 90 исследовательских программ, проектов, грантов, договоров о научно-техническом сотрудничестве, тематических планов бюджетных организаций. Исследования покрывали широкий спектр по пяти приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ.

6.1.1. Канал СИ №2 накопителя электронов ВЭПП-3.

Исследование гидротермальной стабильности образцов мезоструктурированных элемент-силикатов (Винокуров З.С., Шмаков А.Н., ИК СО РАН).

Мезоструктурированные силикатные материалы и каталитические системы на их основе привлекают внимание вследствие их уникальных характеристик – высокой удельной поверхности, большого удельного объема мезопор и возможности введения каталитически важных гетероэлементов на этапе синтеза материалов. В данной работе представлены результаты исследования структуры и гидротермальной стабильности каталитических систем, полученных методом самоорганизации при испарении инертного растворителя (Evaporation Induced Self-Assembly, EISA) с введением в структуру атомов вольфрама на стадии приготовления мезоструктурированного материала. В процессе синтеза использовали тетраэтилортосиликат (ТЕОС) в качестве источника SiO_2 и цетилтриметиламмоний бромид (СТАВ) в качестве структурообразующего агента. Введение гетероатомов вольфрама производилось из раствора комплекса ацетилацетоната вольфрама $\text{WO}_2(\text{acac})_2$ в этаноле. Катализатор предназначен для использования в реакциях жидкофазного окисления органических соединений в растворе пероксида водорода H_2O_2 .

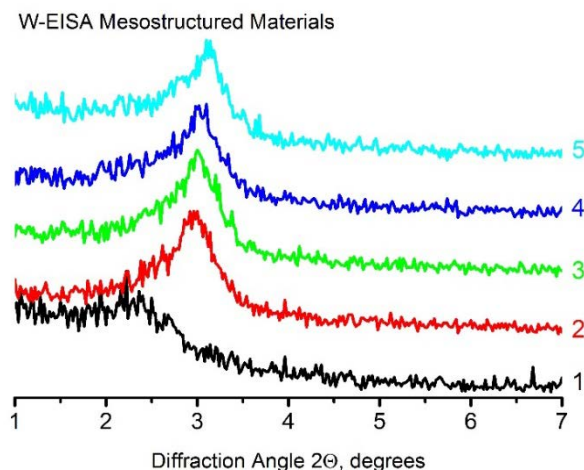


Рис. 6.1.1. Фрагменты рентгенограмм мезоструктурированных вольфрам-силикатов. 1 – образец, не содержащий вольфрама; 2 – исходный образец, синтезированный в чистом этаноле; 3 – исходный образец, синтезированный в смеси этанола и соляной кислоты; 4 – образец №3 после обработки в растворе H_2O_2 ; 5 – образец №3 после кипячения в воде в течение 6 часов.

На Рисунке 6.1.1 представлены фрагменты рентгенограмм исследованных образцов в области малых углов дифракции. Результаты исследования

свидетельствуют об устойчивости структуры каталитической системы к воздействию реакционной среды при температурах, близких к температуре кипения воды.

Исследование изменений текстурных параметров образца вольфрама в результате воздействия неоновой плазмы силикатов (Аракчеев А.С. ИЯФ)

Проведено исследование преимущественной ориентации кристаллитов в образце вольфрама, облученного неоновой плазмой. Вольфрамовые образцы были облучены плазмой на установке PSI-2 (Юлих, Германия). После облучения интенсивность рефлекса (110) выросла примерно в три раза. В результате проведенных экспериментов получены зависимости интенсивности дифракционного максимума (110) от наклона образца по отношению к падающему пучку рентгеновского излучения (Рис.6.1.2). Угловые характеристики появившейся ориентации кристаллической структуры были измерены с целью планирования дальнейших экспериментов по определению механизмов появления текстуры на вольфраме при облучении плазмой.

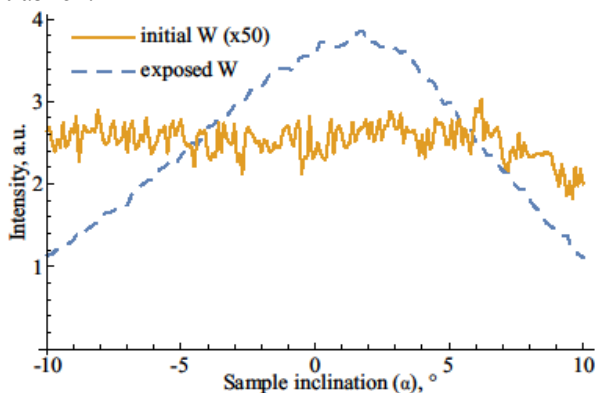


Рис. 6.1.2. Зависимость интенсивности дифракционного максимума $W(110)$ образца вольфрама, облученного неоновой плазмой, от угла падения рентгеновского излучения.

6.1.2. Канал СИ №6 накопителя электронов ВЭПП-3.

In Situ исследование автоколебаний в реакции окисления СО на палладии методами рентгеновской дифракции (Сараев А.А., Каичев В.В., Винокуров З.С., Шмаков А.Н., Бухтияров В.И., ИК СО РАН)

Группой Бычкова и др. было показано что в определенных условиях возможно возникновение автоколебаний в реакции окисления СО на никеле. На основе наблюдений за состоянием образца в процессе автоколебаний ими был сделан вывод о том, что в случае окисления СО как и в случае окисления метана происходит периодическое окисление/восстанов-

ление поверхности никеля. Для точного установления фазового состава поверхности нами был предложен эксперимент по рентгеновской дифракции *in situ*, аналогичный проведенному для реакции окисления метана.

В результате эксперимента было установлено, что в процессе автоколебаний при окислении СО на никеле наблюдается изменение фазового состава поверхности катализатора. На Рисунке 6.1.3 представлены осцилляции интенсивности рефлексов, соответствующих фазе Ni 111 и 200, а также температуры катализатора. Период осцилляций составляет ~250 секунд. Осцилляции имеют релаксационный вид. Видно, что большую часть времени катализатор находится в состоянии низкой активности, и периодически, самопроизвольно переходит в состояние высокой активности. Очевидно, что резкий рост температуры катализатора соответствует восстановлению оксида.

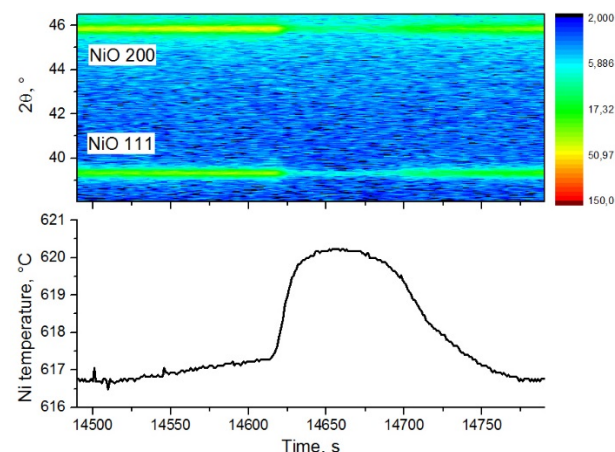


Рис. 6.1.3. Осцилляции температуры катализатора (снизу), карта дифракционной интенсивности в области рефлексов никеля Ni 111 и 200 (сверху) в зависимости от времени. Состав реакционной смеси соответствовал молярному соотношению $\text{He}:\text{CO}:\text{O}_2 = 6:1:4$. Скорость потока составляла $100 \text{ см}^3/\text{мин}$. Длина волны 1.6423 \AA .

Температурный гистерезис в реакции окисления метана на допированном палладием Mn-гексаалюминатном катализаторе (С. А. Яшник, З. С. Винокуров, А. В. Сальников, А. В. Ищенко, В. В. Каичев, З. Р. Исмагилов)

В настоящее время продолжается интенсивное исследование Pd-содержащих катализаторов на алюмооксидных и гексаалюминатных носителях, имеющих большое практическое значение в области совершенствования энергетических технологий. Например, гексаалюминаты марганца, модифицированные палладием, являются перспективными катализаторам для использования их в камерах сгорания газотурбинных установок малой мощности.

Для выяснения роли, которую играют состояния наноразмерных частиц палладия и катионов марганца в проявлении температурного гистерезиса в ходе

окисления метана на Pd/Mn-гексаалюминатных катализаторах, был использован метод *in situ* РФА.

Разложение PdO и его образование при нагревании и охлаждении соответственно высокотемпературного катализатора 2Pd/MnLaAl11O19-900 в кислородсодержащей среде было изучено методом *in situ* рентгеновской дифракции. На рис. 6.1.4 показано, как изменяется фазовый состав палладия при нагревании и охлаждении в диапазоне от 350 до 900 °С в смеси с содержанием кислорода 2 об.%. При 350 °С катализатор 2Pd/MnLaAl11O19-900 содержит частицы как PdO, так и металлического Pd. Фазовый состав не изменяется при нагревании образца в кислородсодержащей среде вплоть до 600 °С. При

повышении температуры до 650 и 700 °С наблюдается уменьшение полуширины и интенсивности рефлекса (101) от PdO. Но уже при 750 °С рефлексы PdO исчезают. При 900 °С интенсивность рефлексов, соответствующих фазе металлического палладия, увеличивается. В ходе охлаждения рефлексы PdO вновь появляются при 600 °С и ниже, однако их интенсивность примерно в 2 раза меньше, чем в спектре исходного катализатора. Снижение интенсивности рефлексов PdO обусловлено, как упоминалось выше, неодинаковой концентрацией кислорода в смесях, используемых для предобработки катализатора и для исследований методом РФА (соответственно 20 и 2 об. %).

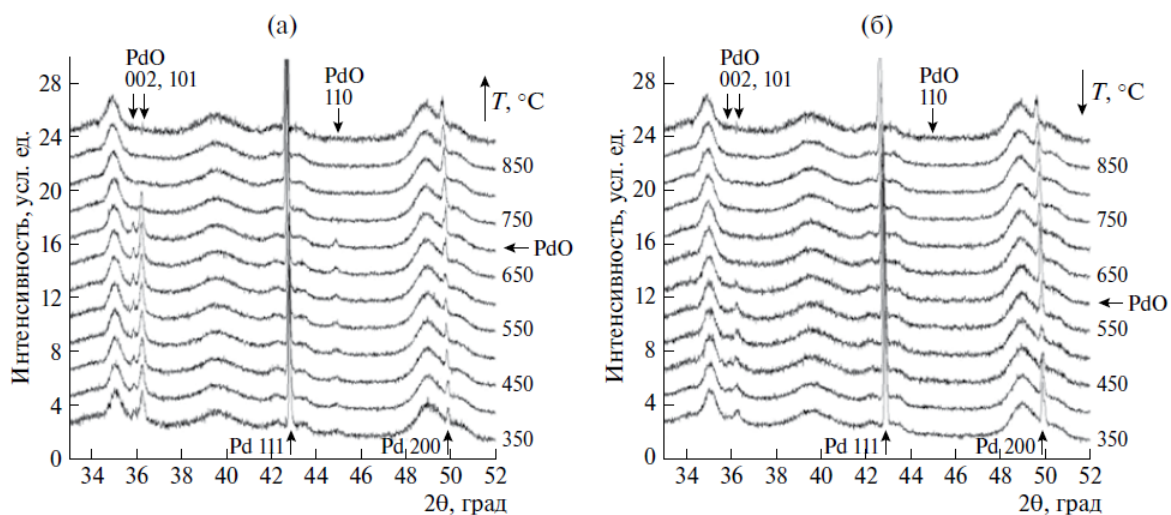


Рис. 6.1.4. Дифрактограммы катализатора 2Pd/MnLaAl11O19-900 в смеси, содержащей 2 об.% кислорода в аргоне, в режимах нагревания (а) и охлаждения (б). Шаг изменения температуры 50 °С, длина волны 1.6423 Å.

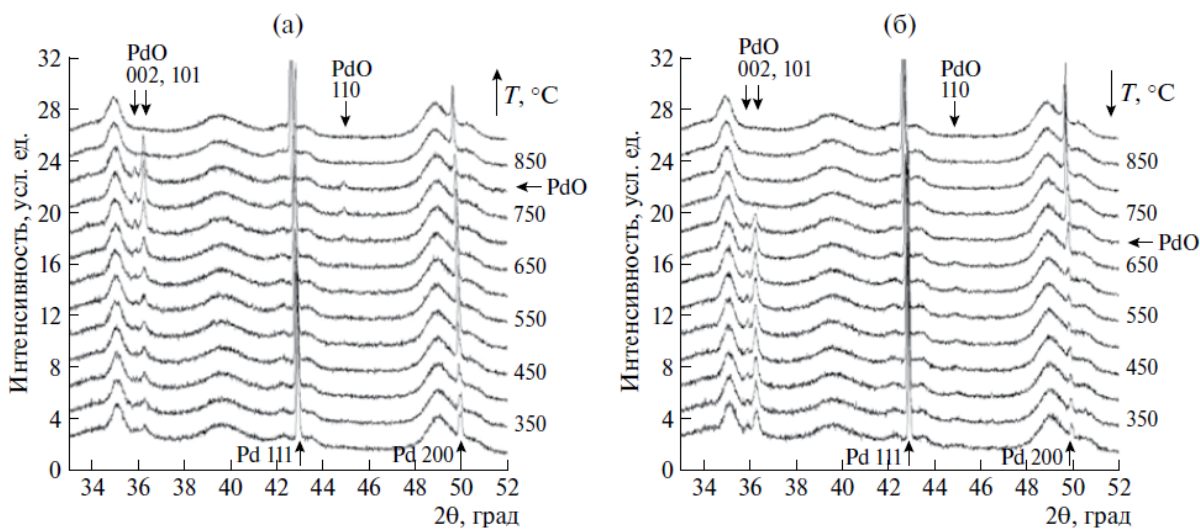


Рис. 6.1.5. Дифрактограммы катализатора 2Pd/MnLaAl11O19-900 в смеси, содержащей 1 об.% метана и 20 об.% кислорода в аргоне, в режимах нагревания (а) и охлаждения (б). Шаг изменения температуры 50 °С, длина волны 1.6423 Å.

При нагревании и охлаждении катализатора $2Pd/MnLaAl11O19-900$ в метан-кислородной смеси тоже наблюдается температурный гистерезис (Рис. 2.3) в процессе превращений $PdO \rightarrow Pd$. Однако температура разложения PdO в аргон-кислородной и метан-кислородной смесях с содержанием кислорода 20 и 2 об.% соответственно повышается от 600 до 700 °С с ростом концентрации кислорода. Аналогичный сдвиг (от 600 до 700 °С) происходит и с температурой образования PdO при охлаждении катализатора в указанных кислородсодержащих смесях. Этот результат согласуется с известным фактом повышения температур разложения и образования PdO при возрастании парциального давления кислорода.

Синтез марганце-галлиевых оксидов $Mn_{3-x}Ga_xO_4$ ($x=1-2$) со структурой шпинели. (О.С.Венедиктова, О.А. Булавченко, Т.Н.Афонсенко, П.Г. Цирюльников, З.С. Винокуров, Ю.А. Чесалов, С.В. Цибуля, ИК СО РАН)

Интерес к смешанным Mn-содержащим двойным оксидам со структурой шпинели вызван широким спектром физических и химических свойств таких соединений. Формула шпинели AB_2O_4 с пр.гр. $Fd(-)3m$, где А и В – катионы, занимающие тетраэдрические и октаэдрические позиции, соответственно.

Высокая подвижность кислорода позволяет использовать марганец-содержащие оксидные

системы в качестве катализаторов в окислительных процессах димеризации метана, глубокого окисления углеводородов и СО и получения синтез-газа из связанных нефтяных газов.

В настоящей работе изучались смешанные марганце-галлиевые оксиды, синтезированные методом соосаждения, чтобы выявить условия формирования твердых растворов со структурой шпинели и влияние марганца при фазообразовании. Также исследовались различия низкотемпературной дисперсной и хорошо окристаллизованной высокотемпературной шпинели.

На Рис. 6.1.6(a) показаны дифракционные картины образца $Mn:Ga=1,7:1,3$ 600°С при нагреве/охлаждении в потоке гелия до 1000°С со скоростью 10°С/мин. Нагрев приводит к сужению рефлексов исходного образца и их смещению в сторону малых углов. Для зависимости Рис. 6.1.6(б) поведения параметров решетки фазы шпинели от температуры можно выделить четыре области: 1) от комнатной температуры до 400°С - термическое расширение 2) отсутствуют изменения на промежутке 400°С-500°С; 3) в области 500°С-700°С - потеря кислорода образцом; 4) выше 700°С вклад химического расширения уменьшается и пропадает выше 950°С. При охлаждении параметр меняется линейно, что связано только с температурным эффектом. Стоит отметить существенную разницу в параметре решетки исходного образца (0,838 нм) и образца после отжига (0.846 нм).

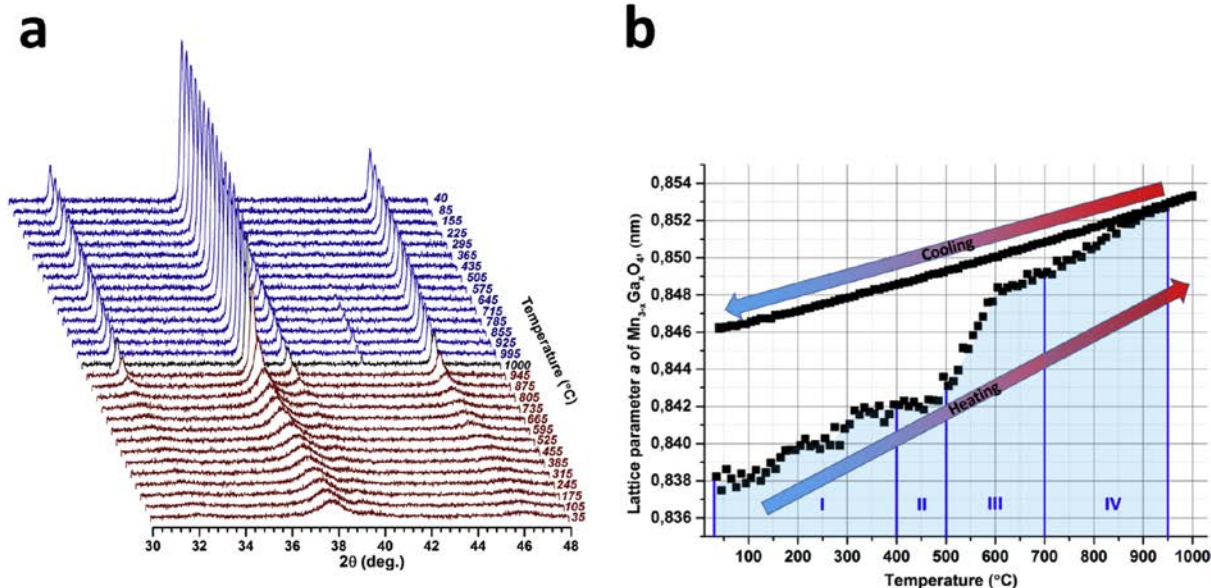


Рис.6.1.6 (а) Серия дифракционных картин записанная in situ в процессе нагрева и охлаждения в потоке гелия. Длина волны 0,16422нм. (б) зависимость параметра решетки фазы $Mn_{3-x}Ga_xO_4$ от температуры при нагреве\охлаждении в потоке гелия.

In situ XRD исследования взаимодействия водорода с титановым сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления. (Е.Б. Кашкаров, М.С. Сыртанов, В.Н. Кудияров, З.С. Винокуров, ИК СО РАН ТПУ)

Водород оказывает существенное влияние на физико-химические и механические свойства металлов и сплавов. Совместное применение метода рентгеновской дифракции в режиме *in situ* и насыщения водородом из газовой среды дает возможность в рамках одного эксперимента определить взаимосвязь фазового состава сплава изготовленного методами 3D-печати с его сорбционными свойствами, и тем самым расширить понимание механизмов взаимодействия водорода с титановыми сплавами, изготовленными при помощи методов аддитивных технологий. Ранее подобный подход был использован только для изучения взаимодействия водорода с титановыми и циркониевыми сплавами, изготовленными традиционными способами.

В настоящей работе были исследованы образцы с титановым сплавом Ti-6Al-4V, полученным методом электронно-лучевого сплавления в виде таблеток радиусом около 8мм и толщиной около 1.5мм со слоем никеля, полученного методом магнетронного распыления.

Результаты рентгеновской дифракции в режиме *in situ* представлены на Рисунке 6.1.7. На начальном этапе насыщения водородом (около 10 минут) рефлекс β -фазы смещается к малым углам, а положение рефлексов α -фазы существенно не изменяется. Это происходит из-за того, что растворимость водорода в α -фазе значительно меньше чем для β -фазы. Скорость сорбции водорода относительно низкая, так как диффузия водорода протекает в основном через α -фазу, объемное содержание которой превышает 95%. Поскольку водород является стабилизатором β -фазы в титане, α -фаза превращается в β -фазу, растворимость водорода в которой составляет 1,52 мас. %. Таким образом, происходит увеличение объема β -фазы во время следующей стадии насыщения водородом (10-20 минут). Через 20 минут насыщения наряду с увеличением объемной доли β -фазы α -фаза превращается в α_2 -фазу на основе интерметаллического Ti_3Al и метастабильной фазы $\alpha'(\alpha'')$. Наводораживание может приводить к перераспределению Al в титане и локальному накоплению Al выше 7 мас. %, что приводит к образованию α_2 -фазы. Следует отметить, что образование гидроксида δ -титана в процессе насыщения водородом не наблюдалось. Измеренная концентрация водорода в образце после гидрирования составляла 0,60 мас. %.

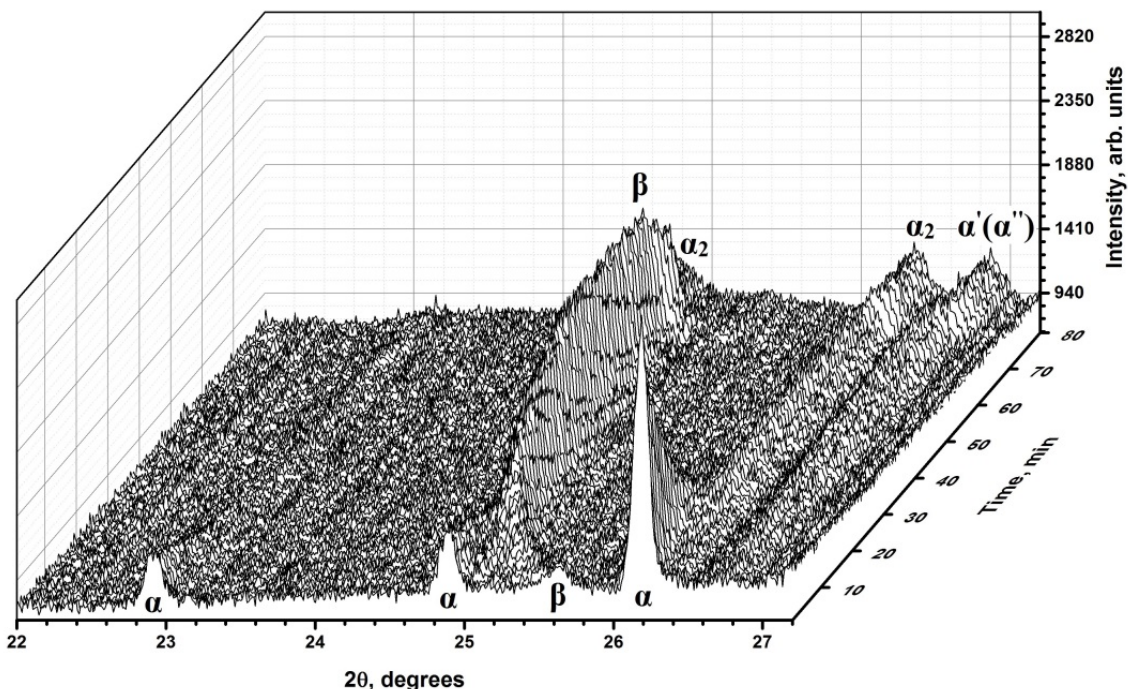


Рис.6.1.7. Серия дифракционных картин записанная в процессе насыщения водородом сплава Ti-6Al-4V, полученного методом электронно-лучевого сплавления при 650°C. Длина волны 0,16428 нм.

Экспериментальное исследование in situ фазообразования при окислении модифицированных пентоксидом ванадия порошков алюминия в условиях программируемого нагрева на воздухе до 1150 К. (Шевченко В.Г., Еселевич Д.А., Попов Н.А., Винокуров З.С., ИК СО РАН, ИХТТ УРОРАН)

Для снижения защитных характеристик барьерного слоя продуктов окисления на поверхности частиц был разработан метод поверхностного модифицирования микроразмерных порошков алюминия (АСД-4), основанный на их пропитке ванадийсодержащим гидрогелем состава $V_2O_5 \cdot nH_2O$. Исследованная добавка позволила сместить зону начала активного взаимодействия в низкотемпературную область, повысить скорость и полноту окисления микроразмерных частиц алюминия при взаимодействии с кислородом воздуха. Разработан механизм воздействия геля на кинетику окисления Al. Однако остались вопросы, связанные с деталями этого сложного механизма в области температур интенсивного окисления в жидкой фазе.

In situ рентгенодифракционный эксперимент показал, что быстрый нагрев (100 К/мин) модифицированного АСД-4 в потоке воздуха приводит к одновременному образованию при 1107 К (Рис.6.1.8, верхний) как переходных фаз оксида алюминия $\theta-Al_2O_3$ и орторомбического оксида со структурой схожей с $\delta'-Al_2O_3$ описанной группой *Fargeot D., et al.*, так и образованию $\alpha-Al_2O_3$. Образование $\gamma-Al_2O_3$ в данном случае не было зафиксировано, что в первую очередь связано со скоростью нагрева. Аналогичный эксперимент с исходным АСД-4 (Рис. 6.1.8, нижний) показал отсутствие активного образования оксидов алюминия (некоторый подъем в области 49 градусов может свидетельствовать о появлении наиболее интенсивного 400 рефлекса $\gamma-Al_2O_3$).

Охлаждение образца не привело к существенным фазовым изменениям (кроме рекристаллизации алюминия из расплава), что позволило провести полнопрофильный анализ Ритвельда для «замороженного» переходного состояния системы Al- V_2O_5 . Моделирование (Рис. 6.1.9) показало достаточно хорошее соответствие экспериментальной дифрактограмме ($R_{wp} = 17\%$), что позволяет судить о наличии следующих фаз: Al – 53вес%, пр.гр. Fm(-)3m, параметры решетки $a=4.0520(2)$ (PDF 4-787 $a = 4.0494$); $\alpha-Al_2O_3$ – 20вес%, пр.гр. R3(-)с, параметры решетки $a = 4.7594(2)$, $c = 12.993(1)$ (PDF 46-1212 $a = 4.7587$, $c = 12.9929$); $\theta-Al_2O_3$ – 9вес%, пр.гр. C2/m, параметры решетки $a = 11.797(2)$, $b = 2.906(4)$, $c = 5.632(7)$, $\beta=104.14(1)$ (PDF 23-1009 $a = 11.813$, $b = 2.906$, $c = 5.625$, $\beta = 104.10$); $\delta'-Al_2O_3$ – 18вес%, пр.гр. P222, параметры решетки $a = 7.936(8)$, $b = 7.9481(8)$, $c = 11.683(8)$ (PDF 46-1215 $a = 7.934(1)$, $b = 7.956(1)$, $c = 10.711(2)$). Отсутствие высокотемпературных фаз связанных с ванадием, может быть следствием того, что ванадий находится либо в дисперсном состоянии,

либо встраивается в дефектную шпинельную структуру $\delta'-Al_2O_3$ на позицию В (для идеальной шпинели AB_2O_4). Для определения состояния, в котором находится ванадий, требуются более чувствительные эксперименты по отношению к ванадию, например QEXAFS/EXAFS.

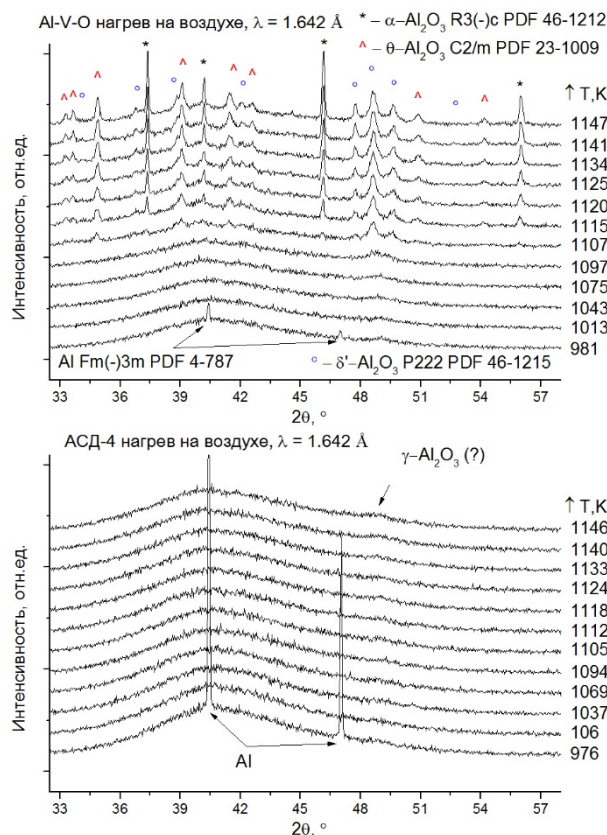


Рис.6.1.8 Серия дифракционных картин, записанная in situ в процессе отжига порошка алюминия АСД-4 – исходного (нижний) и модифицированного $V_2O_5 \cdot nH_2O$ (верхний). Длина волны 0,16421нм. Скорость нагрева 100К/мин.

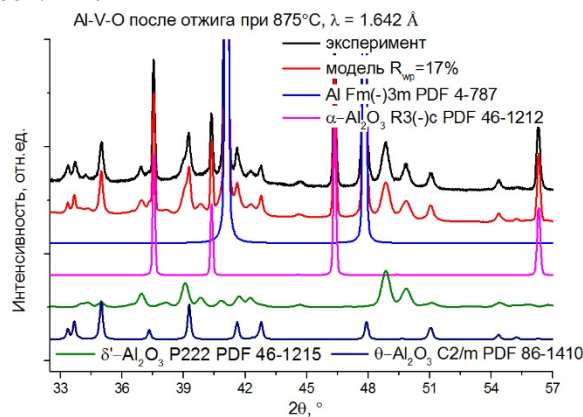


Рис.6.1.9. Полнопрофильный анализ дифрактограммы АСД-4 модифицированного $V_2O_5 \cdot nH_2O$ после отжига при 875С. Длина волны 0,16421нм.

Показано, что пентоксид ванадия (поверхностная модификация), использованный в качестве модификатора, позволяет значительно увеличить полноту и скорость окисления порошков алюминия типа АСД-4, применяемых в качестве горючих в составах смесевых ракетных топлив.

Исследование структурных преобразований в полупроводниковом перовските $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ в интервале температур $25\div 70^\circ\text{C}$. (Семенова О.И., Юданова Е.С. ИФП СО РАН, Шмаков А.Н., Винокуров З.С., ИК СО РАН)

Поиск и изучение новых полупроводниковых материалов для фотовольтаики и оптоэлектроники является актуальным как для фундаментальных исследований, так и для решения прикладных задач. Особое внимание исследователей привлекает гибридный полупроводниковый материал перовскит $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, так как КПД лабораторных солнечных элементов на его основе за последние годы вырос с 4 до 20%. Дальнейшее исследование материала показало, что перовскит можно применять не только в тонкопленочных СЭ, но также в детекторах рентгеновского и γ -излучения, в лазерах и светодиодах. Столь широкий спектр применения этого полупроводникового материала и высокие КПД приборов на его основе объясняются уникальными свойствами перовскита: оптимальная для СЭ ширина запрещенной зоны (1.5 эВ), высокое значение коэффициента поглощения солнечного спектра (10^5) и рентгеновского излучения, низкая энергия связи экситонов (16 мэВ), большая длина свободного пробега носителей заряда (до 1 мкм в плёнках и до 175 мкм в монокристаллах). Одной из главных проблем для практического использования перовскита является деградация материала во внешней среде, что обычно решается разработкой соответствующих материалов для инкапсуляции.

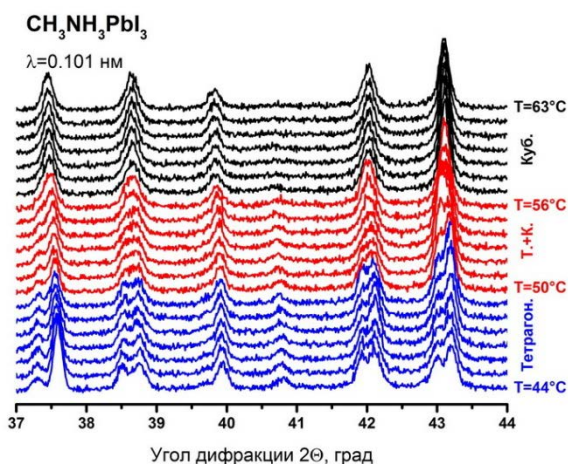


Рис.6.1.10. Изменение фазового состава образца $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ в процессе нагрева в диапазоне температур от комнатной до 70°C .

Было проведено исследование фазового состава перовскита $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ и его изменение в температурном диапазоне $25\div 70^\circ\text{C}$. Показано, что при температурах до 50°C материал существует в тетрагональной модификации, а выше 56°C фаза является кубической. В диапазоне температур $50\div 56^\circ\text{C}$ сосуществуют тетрагональная и кубическая модификации (Рис.6.1.10).

Эффект концентрационного гистерезиса в реакции окисления метана на родии. (Шмаков А.Н., Пахаруков И.В., Винокуров З.С., ИК СО РАН)

Явление гистерезиса, т. е. зависимости свойств функционирующей каталитической системы не только от внешних воздействующих на систему параметров, но и от предыстории данного состояния системы, распространено в гетерогенном катализе и обычно связывается с нелинейностью механизма каталитического процесса. Ранее было обнаружено существование концентрационного гистерезиса в реакции окисления метана на нанесенных платиновых катализаторах. Было установлено, что при одних и тех же соотношениях метана к кислороду возможны два стационарных состояния дисперсной платины – с высокой и низкой каталитической активностью, которые реализовывались в зависимости от направления обогащения смеси метан: кислород. Скачкообразное изменение активности платины и селективности процесса строго коррелировало с восстановлением и окислением нанесенной платины.

В данной работе представлены результаты исследования окисления метана в условиях переменного содержания кислорода (переход от избытка к недостатку кислорода и обратно) на дисперсном родиевом катализаторе, активный компонент которого обладает высокой окислительно-восстановительной лабильностью и может легко изменять химическое состояние, подстраиваясь под состав реакционной среды. В работе методом рентгеновской дифракции Operando был обнаружен концентрационный гистерезис, аналогичный тому, что ранее был известен для платины – в зависимости от направления изменения обогащенности смеси $\text{CH}_4:\text{O}_2$ кислородом относительно стехиометрии реакции глубокого окисления существует два стабильных стационарных состояния каталитической системы с различной активностью.

На Рисунке 6.1.11 представлена зависимость фазового состава катализатора Rh/TiO_2 от времени реакции при температуре 330°C в процессе понижения/повышения концентрации кислорода в реакционной смеси. Рисунок 6.1.12 демонстрирует соответствующее изменение во времени состава газовой смеси на входе и выходе из рентгеновской камеры-реактора.

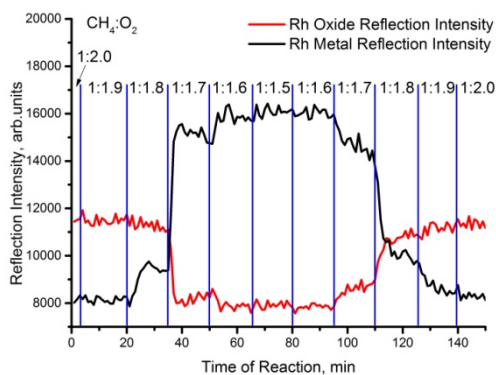


Рис.6.1.11. Зависимость от времени фазового состава катализатора Rh/TiO₂ в процессе реакции окисления метана на родии.

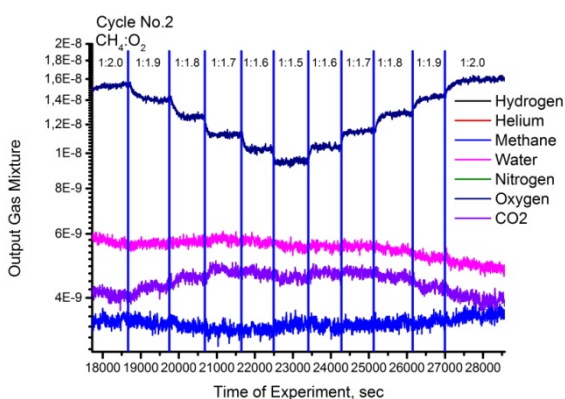


Рис.6.1.12. Зависимость от времени состава газовой смеси в процессе реакции окисления метана на родии.

В исходном состоянии в системе присутствует преимущественно нанодисперсный оксид родия Rh₂O₃, состав газовой смеси соответствует стехиометрии реакции полного окисления. При пошаговом понижении концентрации кислорода до мольных соотношений CH₄:O₂=1:1.9, 1:1.8, 1:1.7 снижается интенсивность рефлексов оксида и растет интенсивность рефлексов металлического родия. Образование металлического родия, как и в случае платины, приводит к активации катализатора – повышению активности катализатора (в составе продуктов реакции наблюдается увеличение концентрации диоксида углерода) и появлению водорода. Таким образом, восстановленный родий, как и платина, активнее окисляет метан чем водород. Дальнейшее снижение концентрации кислорода в исходной смеси до соотношения CH₄:O₂=1:1.6, 1:1.5 не меняет фазового состава катализатора, однако сопровождается снижением конверсии метана, замедлением реакции и уменьшением концентрации CO₂ на выходе из камеры-реактора за счёт недостатка кислорода для протекания реакции.

Обратное повышение концентрации кислорода в реакционной смеси вызывает увеличение конверсии

метана и рост содержания CO₂ в продуктах реакции. Фазовый состав катализатора заметно начинает меняться при соотношении CH₄:O₂=1:1.7, однако наблюдается некоторое несоответствие количества металлического и окисленного родия, состояниям, имевшим место при понижении концентрации кислорода. Последующее повышение содержания кислорода в смеси вызывает увеличение содержания фазы оксида родия и деактивацию катализатора до начального уровня.

Основной подход к объяснению данного явления исходит из возможности изменения фазового состава оксида родия при изменении состава реакционной среды. В условиях реакции, при которых родий находится в окисленном низкоактивном состоянии, реакция окисления метана осуществляется за счет кислорода оксида родия и последующего окисления родия кислородом среды. Данный процесс достаточно медленный в данных условиях. Однако при определенном снижении содержания кислорода в среде скорость образования оксида родия не успевает компенсировать потерю кислорода для реакции окисления, и родий переходит в восстановленное состояние. В восстановленном состоянии реакция окисления метана осуществляется между диссоциативно адсорбированным кислородом среды и метаном – данный процесс протекает достаточно быстро и, скорость реакции окисления метана до CO₂ существенно возрастает.

Обратное повышение содержания кислорода в смеси до определенного уровня после активации катализатора увеличивает скорость процесса окисления метана и водорода. При достижении определенного уровня кислорода в смеси родий переходит в окисленное состояние и активность возвращается к исходному низкому уровню при данных условиях.

6.1.3. Канал СИ №8 накопителя электронов ВЭПП-4М.

Исследование структуры и фазового состава образцов Ce_{0.5}Zr_{0.5}O₂+5%NiO, приготовленных в условиях сверхкритического осаждения. (Шмаков А.Н., Купер К.Э., ИЯФ СО РАН)

Проведено исследование структуры и фазового состава образцов смешанных оксидов церия-циркония, модифицированных оксидом никеля при различных способах синтеза. В одном случае никель наносили на приготовленный носитель после синтеза церий-циркониевого оксида в условиях сверхкритического осаждения, в другом случае производили одновременное осаждение трех оксидов.

Эксперименты были выполнены в ЦКП «Сибирский Центр Синхротронного и Терагерцового Излучения» с использованием жесткого рентгеновского излучения с

энергией фотонов 76.235 кэВ (длина волны 0.01615 нм) из накопителя электронов ВЭПП-4М. Рентгенограммы образцов представлены на Рисунке 6.1.13.

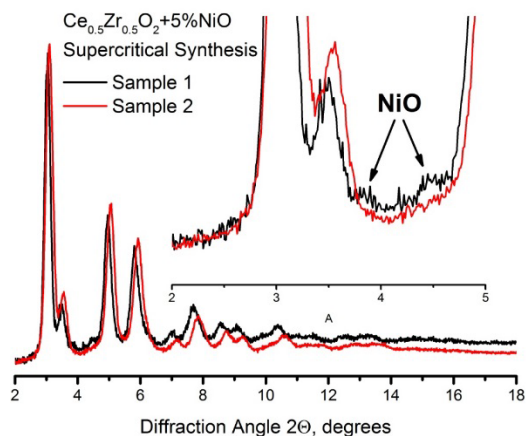


Рис. 6.1.13 Рентгенограммы образцов $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2+5\%\text{NiO}$ различных способов приготовления.

По результатам исследования установлено, что в образце, приготовленном последовательным нанесением NiO на синтезированный носитель, фаза NiO представлена как минимум двумя рефлексами заметной интенсивности. Оценка содержания фазы NiO в данном образце методом полнопрофильного анализа дала значение ~5%. Параметры решетки фазы $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ составили в тетрагональной установке $a=0.37378$ нм и $c=0.54223$ нм. В образце, синтезированном одновременным осаждением трех оксидов, фаза NiO не наблюдается. Определение фазового состава по полному профилю рентгенограммы показало, что содержание NiO в таком образце не превышает 1%. Как видно из Рисунка 3.1, параметры элементарной ячейки для двух образцов существенно различаются – во втором случае параметры уменьшены примерно на 2.5-5% и составляют $a=0.36500$ нм и $c=0.52261$ нм. Экспериментальные и расчётные рентгенограммы образцов представлены на Рис. 6.1.14 и Рис.6.1.15.

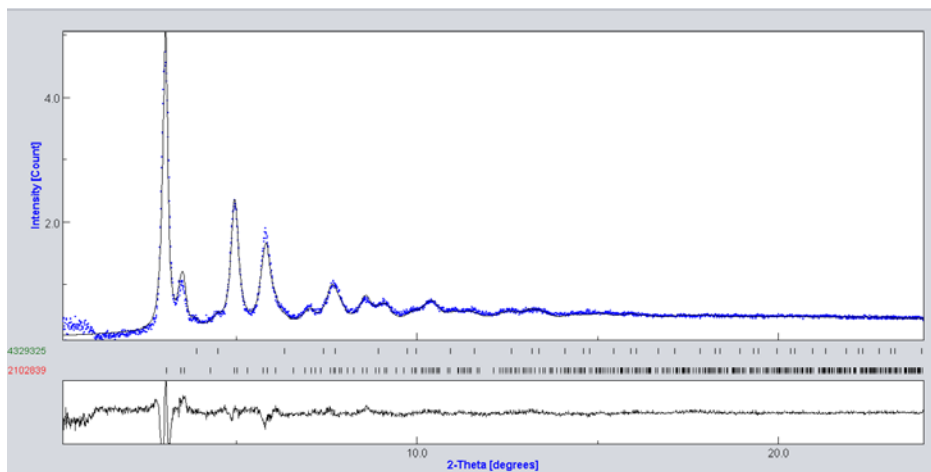


Рис.6.1.14. Экспериментальная и расчётная рентгенограммы образца, синтезированного последовательным осаждением NiO на подготовленный $\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$.

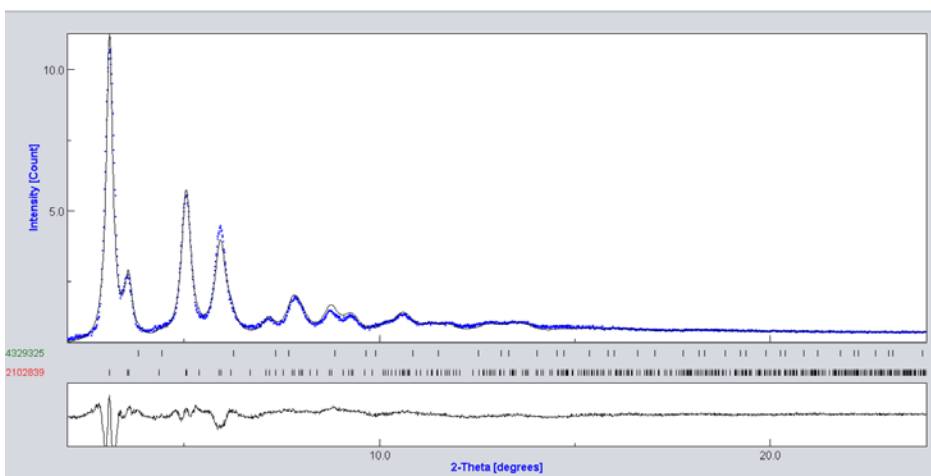


Рис.6.1.15. Экспериментальная и расчётная рентгенограммы образца, синтезированного одновременным осаждением трёх оксидов.

Исследование фазового состава мочевых камней методом рентгеновской дифракции In Vivo (Шмаков А.Н., Купер К.Э., Низовский А.И. ИК СО РАН, ИЯФ СО РАН)

Нефролитиаз – это распространённое и тяжёлое заболевание, которое связано с образованием конкрементов в почках и мочевых путях. Согласно установившемуся представлению, выделяются три основные группы мочевых камней: уратные, состоящие из мочевой кислоты и ее солей; фосфатные, в строении которых принимают участие преимущественно соли ортофосфорной кислоты; оксалатные и белковые. Отнесение камней смешанного состава к той или иной группе осуществляется по преобладающему компоненту. В настоящее время определение типа камня без хирургического вмешательства возможно только по косвенным данным. Прямым методом идентификации фазового состава камней может быть рентгеновская дифракция In Vivo, когда камень находится непосредственно в теле пациента. Рентгенограммы основных типов уролитов существенно различны, поэтому при проведении исследования методом рентгеновской дифракции нет необходимости в детальном кристаллографическом анализе биоминерала, а достаточно лишь определить его принадлежность к одному из известных классов почечных камней. Это принципиально упрощает задачу анализа почечных камней непосредственно в организме человека.

Целью работы является разработка методики определения минерального состава почечных камней в организме больного In Vivo методом XRD SR. На первом этапе выполнены эксперименты по установлению фазового состава мочевого камня с использованием излучения высокой энергии при нормальных условиях.

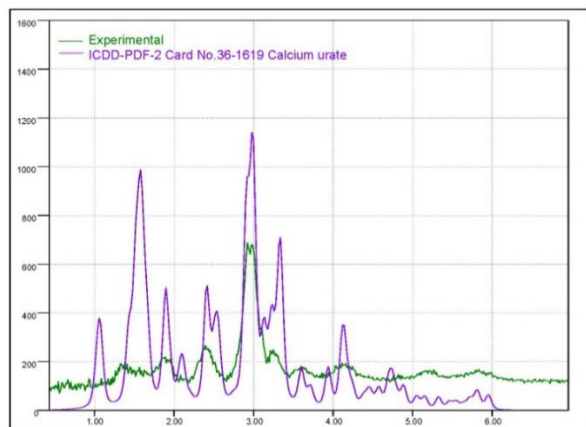


Рис.6.1.16. Экспериментальная рентгенограмма образца мочевого камня, полученная на энергии излучения 76.235 кэВ и расчетная рентгенограмма урата кальция.

На Рисунке 6.1.16 представлены экспериментальная рентгенограмма мочевого камня, полученная с использованием энергии излучения $E=76.235$ кэВ, $\lambda=0.1615$ Å, из источника СИ ВЭПП-4М и расчетная рентгенограмма урата кальция. Из-за близости прямого монохроматического пучка надежными можно считать данные в области углов $>1.5^\circ$ по 2θ . На основании полученных данных можно заключить, что фазовый состав представленного образца близок к урату кальция.

6.1.4. Станция рентгенофлуорисцентного элементного анализа ВЭПП-3.

Поиск микрообразцов вещества внеземного происхождения в датированных слоях донных осадков озера Чеко, Тунгусский природный заповедник. (ИГМ СО РАН, Дарьин А.В.)

Поиск вещества Тунгусского космического тела (ТКТ), взорвавшегося над Эвенкийской тайгой в июне 1908 году на высоте нескольких километров, проводится давно и безуспешно. Остатки микрометеоритов, найденные в районе катастрофы в слоях торфа, хотя и имеют внеземное происхождение, но, с большей степенью вероятности, связаны с т.н. «космической» пылью, постоянно попадающей на Землю из космического пространства. Доказательством связи этих частиц с ТКТ может быть убедительное (статистически значимое) количественное превосходство в слоях, датированных 1908-м годом, относительно выше- и нижележащих слоев.

В настоящей работе поиск следов ТКТ сделан в слоях донных осадков озера Чеко, расположенного в 5-ти километрах от эпицентра взрыва. В рамках проекта РФФИ керн донных осадков был получен гравитационной трубкой в 2016 году. После вскрытия кернов вдоль оси отбора, половина материала разделялась на дискретные образцы с шагом 10 мм. В дальнейшем полученные образцы были использованы для проведения изотопных датировок – измерения активности ^{137}Cs и ^{210}Pb . Вторые половины кернов использовались для приготовления твердых образцов донных осадков. Методика изготовления твердых препаратов из влажного керна, включает три этапа: наложение бокса из алюминиевой фольги на поверхность осадка и извлечение его из керна без нарушения последовательности слоев осадка; замораживание в жидком азоте и сушка в лиофильной камере; насыщение полимером – смесью эпоксицидной смолы и ацетона. Полученные препараты пригодны для длительного хранения, изготовления шлифов для изучения в оптическом микроскопе, для рентгеновских и других современных методов микроанализа.

Анализ фотографий поверхности влажного керна показал наличие слабо выраженной слоистости мощностью 3-5 мм. В предположении, что

наблюдаемая слоистость является годовой (т.н. варвы), можно оценить линейную скорость осадконакопления подсчетом слоев на выделенных интервалах керна. В таблице 1 на рисунке 6.1.17 представлены данные подсчета слоев на четырех интервалах керна.

Исследование распределения микроэлементов по глубине керна (аналитическая микростратиграфия) проводилось методом сканирующего рентгенофлуоресцентного анализа на пучках синхротронного излучения (микроРФА-СИ) по методикам, описанным в работах [Дарьин, 2013; Дарьин, Ракшун, 2013]. Проведено сканирование нескольких интервалов керна Чеко_2016-1 и Чеко_2016-2 с шагом 200 мкм. Определены содержания следующих микро- и породообразующих элементов: K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo. По профилям сканирования прослеживается ритмичность в вариациях содержания стронция и в отношении Rb/Sr.

Модель образования подобной ритмичности при образовании годовых слоев в пресноводных озерах ранее рассмотрена на примере озер Телецкое (Алтай) и Донгуз-Орун (Кавказ) [Дарьин, 2012; Дарьин, 2015] и связана с фракционированием частиц осадка после паводковых вбросов. Оценка скорости по подсчету ритмики Sr представлены в таблице 6.1.2.

На рис.6.1.17 представлены оценки линейной скорости осадконакопления в керне донных осадков озера Чеко.

Следующая оценка скорости была получена по данным распределения по глубине керна Чеко 2016-1 активности ^{137}Cs , маркирующего глобальные выпадения после испытаний ядерного оружия на Новоземельском полигоне. Максимум активности ^{137}Cs приходится на пробы 220-230 мм (84 Бк/кг) и 230-240 мм (73 Бк/кг). Отсюда можно оценить скорость осадконакопления от 4,2 до 4,5 мм/год.

Таблица 6.1.2. Оценка линейной скорости осадконакопления по изменению содержания стронция в профиле сканирования кернов Чеко 2016-1 и Чеко 2016-2.

Интервал керна, мм	0-220	320-490	394-605
Скорость Чеко-1, мм/год	4,5	-	4,0
Скорость Чеко-2, мм/год	4,3	3,8	-

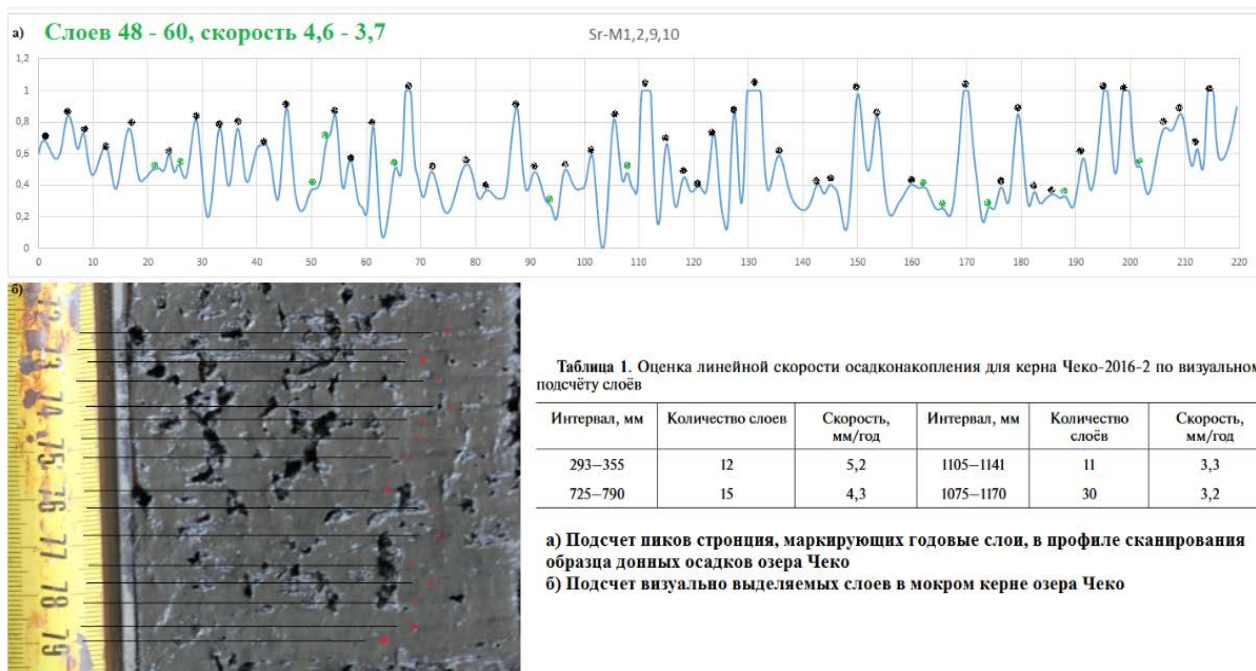
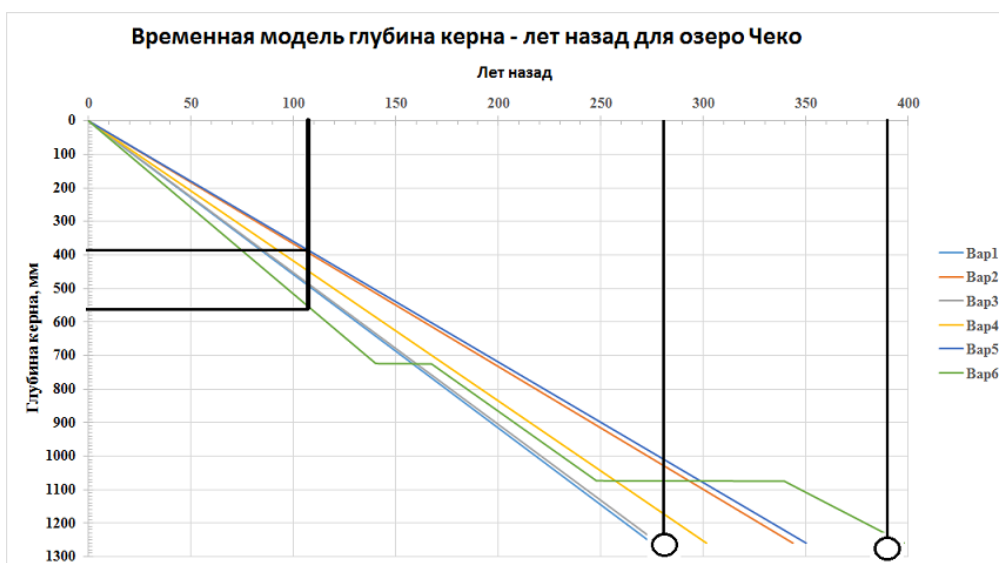


Рис.6.1.17. Для оценки линейной скорости современного осадконакопления в оз.Чеко использовался как подсчет визуально выделяемых слоев на фотографии мокрого керна (б), так и подсчет пиков Sr (или Sr/Rb отношения) в профилях сканирования образцов керна (а).



Интервал, соответствующий 1908 году (107 лет назад): 390 - 560 мм от верха керна
Возраст нижних слоев - 280-390 лет назад

Рис.6.1.18. Временная модель и оценка интервала керна, содержащего слои 1908-9 годов.

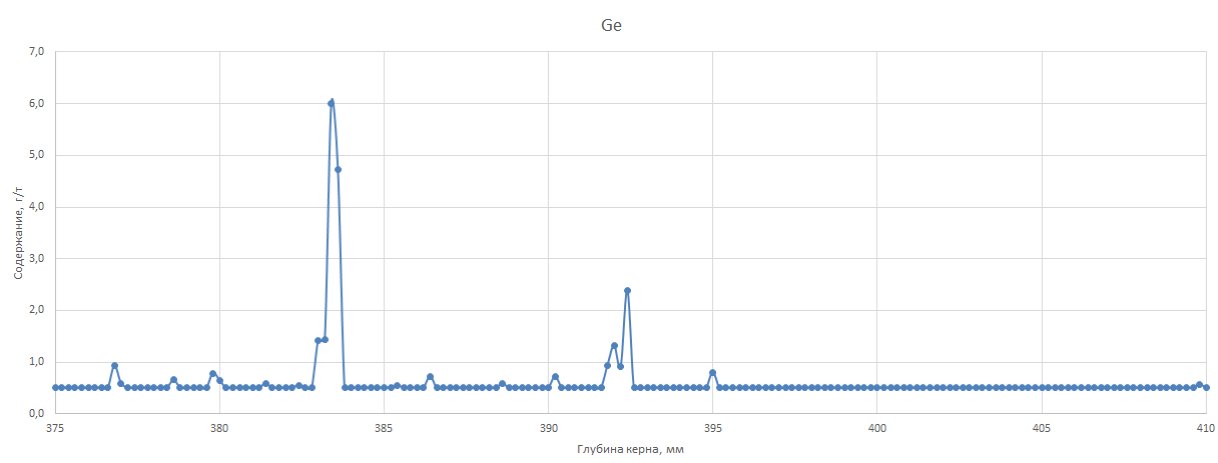


Рис.6.1.19. Повышенные содержания германия в области сканирования 383-384 мм.

Таким образом, полученные данные подтверждают, что в осадках озера Чеко наблюдаются ежегодно ламинированные годовые слои мощностью 3,5 - 4,5 мм. Таким образом появляется возможность выделить интервал керна, содержащий слои, датированные 1908-м и ближайшими годами (Рис.6.1.18).

Для поиска микрочастиц взвешенного вещества был использован метод одномерного сканирующего микроанализа (скан РФА-СИ) в режиме многоэлементного анализа без фокусирующих линз. Использован коллимированный пучок синхротронного излучения с энергией возбуждения 12 кэВ. Энергия возбуждения выбрана для оптимального возбуждения К-линий германия (Ge) – элемента, имеющего низкое содержание в земной коре, но достаточно часто встречающегося в метеоритах.

Размеры пучка 15 мм по ширине и 0,2 мм по высоте (направлению сканирования) позволяют анализировать большое количество материала осадка с достаточно высоким пространственным разрешением. При попадании в область анализа частицы, содержащей высокие концентрации германия, возможна регистрация пиков Ge в регистрируемом спектре. Шаг сканирования составлял 0,2 мм, время измерения в точке – 45 сек. Загрузка спектрометрического тракта составляла величину ~ 10 кгц.

При обработке спектров в области 382-384 мм было выделено несколько точек с повышенными содержаниями германия – до 6 г/т, что превышает кларк (средние содержания) в осадочных породах в несколько сот раз (Рис.6.1.19).

На рис.6.1.20 представлен спектр в точке 383,4 мм с максимальным пиком К-а Ge. Форма и размеры пика соответствуют содержащимся в образце элементам – Zn и Ga, что может служить косвенным подтверждением реальности наблюдаемых явлений.

Для проверки полученных наблюдений и получения дополнительной информации требуется проведение

детальных исследований на разных энергиях возбуждения – выше и ниже К-края поглощения германия. В случае подтверждения наличия повышенных содержаний германия в этих слоях необходимо провести двухмерный микроанализ с использованием фокусирующей рентгеновской оптики с шагом сканирования - 15-20 мкм.

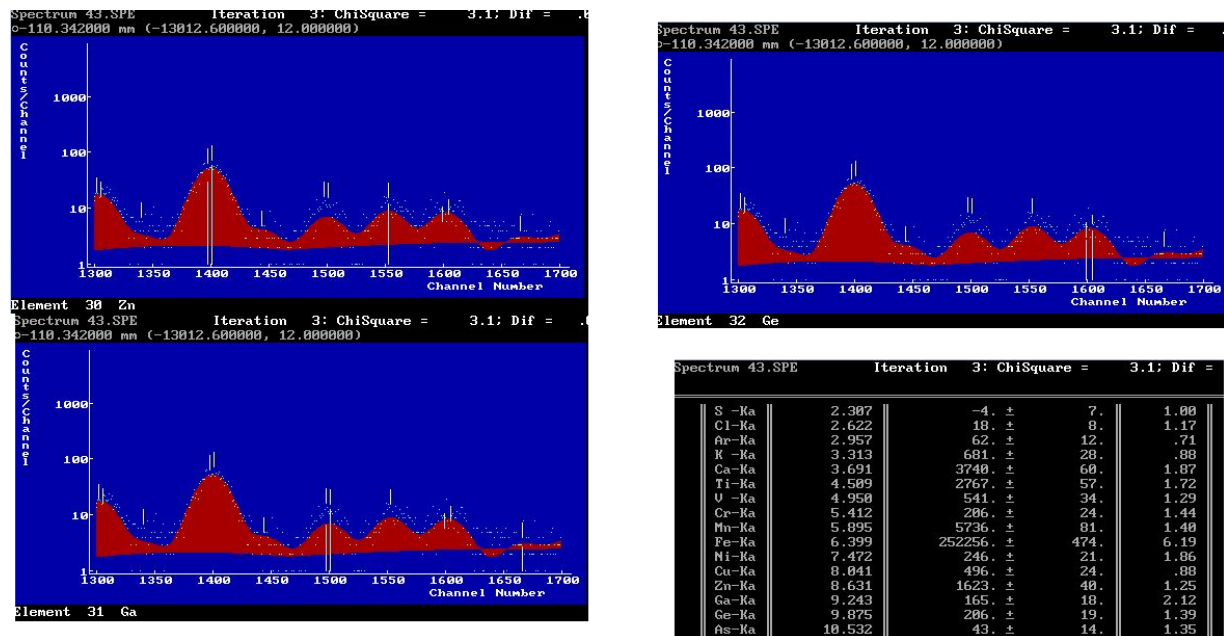


Рис.6.1. 20. Пики германия в спектрах образца Чеко (Чк22-24) на глубине 383мм.

Исследование механизма образования и химического состава атмосферных аэрозолей и микроэлементов в природных субстратах.

(Институт химической кинетики и горения им. В.В.Воеводского СО РАН, лаборатория дисперсных систем исполнитель Чанкина О.В.)

Работа проводилась в рамках научного проекта фундаментальных исследований СО РАН на 2017-2020 гг.: V.44.1.4. «Исследование практически важных физических, химических и биологических свойств частиц микро- и нанометрового размера.» (№ 0304-2016-0003) (отв. д.ф.-м.н. Онищук А.А., ИХКГ) по теме:

Проведены следующие работы:

а) по сезонному мониторингу дисперсного и химического состава атмосферных аэрозолей, которые отбирались на территориях с различной техногенной и естественной нагрузкой: п. Ключи (пригородная аграрная территория) и г. Новосибирск (антропогенно-загрязнённый район). Анализ и систематизация получаемых результатов позволяет изучать закономерности переноса аэрозолей в Сибирском регионе на локальном и региональном уровнях;

б) по изучению содержания химических элементов в тканях растений, произрастающих на фоновых и урбанизированных территориях. Проблема существования растений в условиях техногенного

загрязнения актуальна для крупных промышленных городов. При этом городская растительность может быть использована в качестве индикатора загрязнения среды. В отчётный период (совместно с Центральным сибирским ботаническим садом СО РАН) были продолжены работы по оценке многоэлементного состава разных органов растений лилейника *Hemerocallis hybrid* и лапчатки кустарниковой *Potentilla fruticosa* в условиях промышленно-транспортного воздействия городской среды в г. Новосибирске.

Методом РФА СИ исследовалось содержание следующих элементов: K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pb в надземных и подземных органах растений и почвах их произрастания.

Особый интерес представляют тяжёлые металлы, как наиболее опасные загрязнители экологической среды. Нами было проведено исследование по содержанию тяжёлых металлов разного уровня токсичности: высокотоксичные– Pb, Ni, Co, среднетоксичные–Zn, Fe, Mn, слаботоксичные–Ca, Sr, Cu в почве, листьях и корневищах у 2-х сортов лилейника, выращиваемых в промышленных зонах и вблизи автотранспортных дорог.

Сравнительный анализ содержания и избирательного поглощения тяжелых металлов -

вегетативными органами растений лилейника *Heimerocallis hybrid* показал, что коэффициент биологического поглощения (отношение содержания элемента в растении к его содержанию в почве) растений, произрастающих в условиях техногенного загрязнения городской среды, в 1,5–5 раз выше (в зависимости от элемента) по сравнению с контрольными растениями.

Поступающие в растительный организм вредные компоненты выбросов промышленных предприятий и автотранспорта вызывают широкий спектр изменений, которые можно характеризовать как стресс-индуцируемые.

В результате проведенного исследования определен элементный состав лапчатки кустарниковой *P. fruticosa*, произрастающей в уличных посадках в крупном промышленном городе (г. Новосибирск) и в фоновых условиях (интродукционный участок Центрального сибирского ботанического сада). Выявлены особенности накопления элементов в различных органах растений в зависимости от условий произрастания.

Сравнительный анализ суммарного содержания микроэлементов в надземных органах *P. fruticosa* показал, что содержание практически всех элементов выше в растениях в городских посадках по сравнению с контролем (Рис.6.1.21). Минимум содержания микроэлементов выявлен в контрольных растениях *P. fruticosa*, что согласуется с общеизвестным фактом, что в промышленных центрах имеется два основных способа поступления избыточных химических элементов – из воздуха и почвы.

Показано, что растения *P. fruticosa*, произрастающие вблизи дорожного полотна и промышленного предприятия, накапливают тяжелые металлы и мышьяк в 2-9,5 раз больше по сравнению с фоновыми.

Для исследования растений в условиях техногенного воздействия применяют различные подходы, в том числе, изменения морфологических показателей, в качестве индикаторов стрессового состояния используют показатели флуктуирующей асимметрии (ФА). Обнаружение и оценка этих изменений дает достоверную картину условий места произрастания растений и отражает состояние городской среды.

Установлено, что в условиях транспортно-промышленного загрязнения уменьшается площадь, периметр, длина и ширина листовой пластинки в 4-5 раз по сравнению с контролем. Изменяется соотношение длины и ширины листа и конечной доли.

Рассчитан показатель флуктуирующей асимметрии (ФА), согласно которому экологическая ситуация в обследованных участках г. Новосибирска оценивается как критическая.

Элементный состав и морфологические показатели листа *P. fruticosa* в условиях города могут быть

использованы для фитоиндикации загрязнения среды тяжелыми металлами и мышьяком.

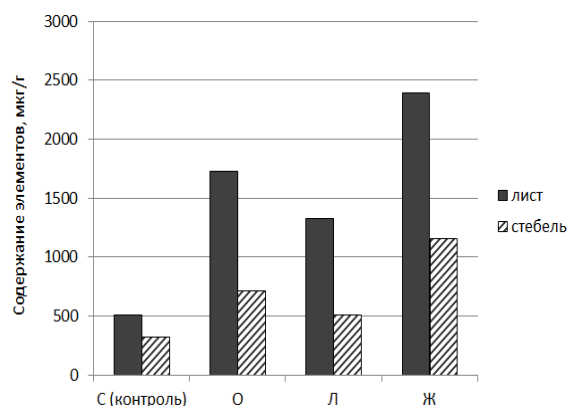


Рис.6.1.21. Суммарное содержание микроэлементов в листьях и стеблях *Potentilla fruticosa*, произрастающей в различных районах г. Новосибирска: Ленинский (Л), Железнодорожный (Ж), Октябрьский (О) и Советский (С).

«Высокорастворимые записи откликов палеоокеанологии Берингова моря и северо-западной части Тихого океана на глобальные климатические изменения в позднем плейстоцене – голоцене». ИГМ СО РАН Кириченко И.С.

Изучение кернов донных отложений Тихого океана проводилось в рамках совместной работы ДВО РАН с Национальным научным советом, Тайваня за 2017 год (номер проекта 17-ННС-003)

Целью проекта является выяснение причин изменения климата и среды северной Пацифики на орбитальных и тысячелетних шкалах в плейстоцене и голоцене в связи с глобальными изменениями климата. Важной задачей проекта является выявление геохимических маркеров быстрых циклических изменений климата в океане, а метод РФА -СИ является одним из самых современных инструментов для решения подобного рода задач.

В рамках проекта был исследован керн глубоководных донных отложений LV 76-18-1 (интервал 0-809см), отобранный с возвышенности Детройт, координаты: 49,03°с.ш., 168,33°в.д., глубина моря 2863 м, полученный в ходе международной экспедиции на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» летом 2016 года.

Осадки данной колонки в настоящее время изучаются комплексом литологических, изотопно-геохимических, и результаты элементного состава осадков позволят существенно дополнить и обосновать новые сведения об изменениях среды и климата этого слабо изученного региона Мирового океана. По предварительным оценкам осадки изучаемой колонки накапливались со скоростью 3 см за тысячу лет, таким образом измеренная часть колонки (1-500 см) охватывает примерно 170 тысяч лет. Изменения содержания отдельных элементов

позволяют реконструировать в прошлом изменения биологической продуктивности, интенсивности вентиляции глубинных вод и другие параметры среды (содержания Ca, Vg и As, U соответственно).

Для исследования элементного состава, керн донных отложений был разделен на сантиметровые интервалы, материал колонки был высушен и истерт. Из подготовленного вещества прессовались «таблетки» (масса 30мг, диаметр 5мм, поверхностная плотность 0,15г/см²). Подготовленные образцы облучались пучком монохроматизированного синхротронного излучения с энергией 23 кэВ, для определения элементов от К до Мо (по К-линиям), U и Th (по L-линиям) с экспозицией на пробу 150 сек живого времени при загрузке 10-13 кГц. Для количественного определения концентрации элементов использовался метод внешнего стандарта, где в качестве эталона использовался эталон

Байкальского ила (бил) и эталон карбонатного материала (си-3).

В результате проделанной работы было получено распределение химических элементов до горизонта 470 см. По предварительным данным установлено, что элементы Ca, Sr, Vg наиболее активно накапливаются в горизонтах, соответствующих теплым межледниковым стадиям, в то время, как K, Ti, Fe, Ni, Zn, Rb, Y, Zr, Nb во время ледниковых стадиялов. А проведенный спектральный анализ, сигналов распределения хим. элементов с глубиной показывает наличие в их структуре периодических составляющих с периодами от 1500 до 40000 лет. Это свидетельствует о влиянии на региональный климат и среду как орбитальных изменений параметров вращения Земли, так и тысячелетних климатических процессов.

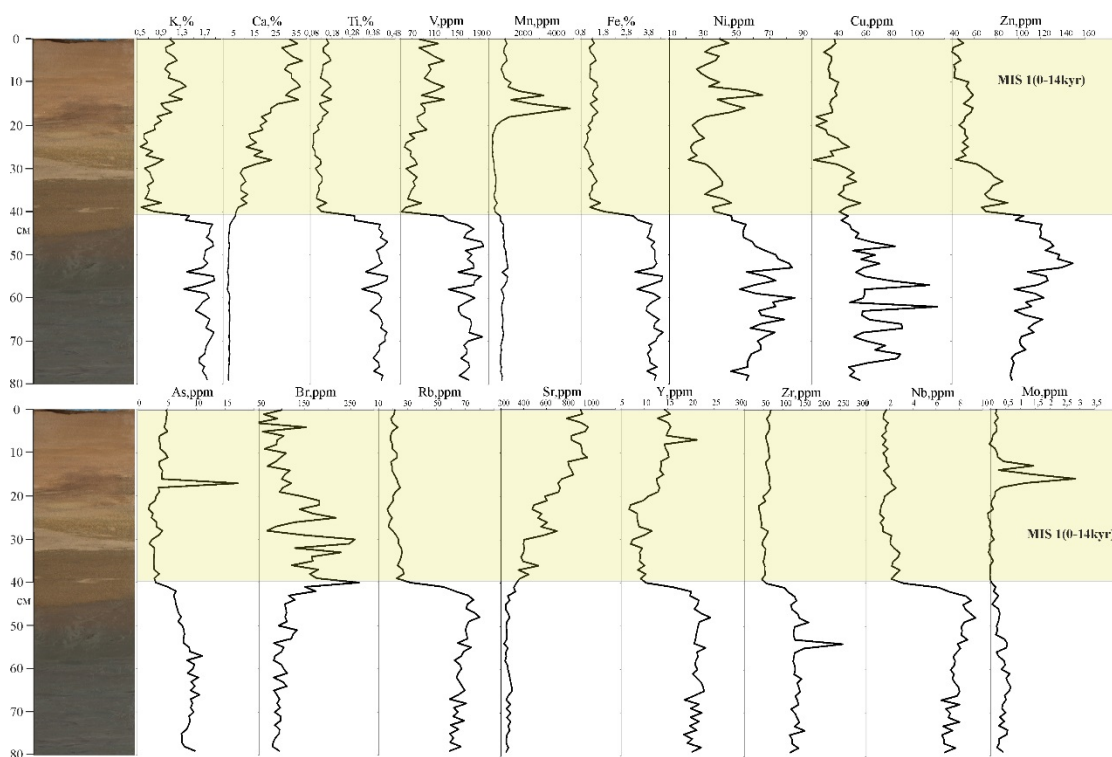


Рис. 6.1.22. Распределения элементов в керне донного отложения.

Пермо-Триасовый магматизм и геодинамические условия его проявления в основных структурах Вьетнама и их роль в формировании рудных месторождений (Cu-Ni-ЭПГ, Fe-Ti-V, Au-Cu-Mo-W, Li), ИГМ СО РАН Колмогоров Ю.П.

Приоритетное направление «Роль магматизма и геодинамики в формировании рудных месторождений Вьетнама. (The role of magmatism and geodynamics in the formation of the ore deposits in the Vietnam.) в соответствии с Меморандумом о научно-техническом сотрудничестве между СО РАН и ВАНТ от 29.05.2017,

Работа проводилась сотрудником ИГМ СО РАН Колмогоровым Ю.П.

На основе комплексного анализа геологических, стратиграфических, петрогеохимических, геохронологических и петрологических данных по пермо-триасовым магматическим (гранитоидным и ультрамафит-мафитовым) ассоциациям и метаморфическим комплексам Вьетнама планируется выявить влияние плейст и плюмтектонических режимов формирования мантийного и корового магматизма и особенностей его геохимического

состава на формирование магматогенных и гидротермальных месторождений Cu-Ni-ЭПГ, Fe-Ti-V, Au-Cu-Mo-W и Li, в том числе порфирирового типа. На основе новых геохимических данных полученных с использованием элементного анализа с применением синхротронного излучения (СИ) выявить особенности латеральной геохимической зональности ультрамафит-мафитовых и гранитоидных ассоциаций в пределах основных геологических структур Вьетнама (платформа Янцзы, Конгумский террейн и складчатый пояс Чыонг-Шон). На основе построенных в ходе выполнения проекта геодинамических моделей, с учетом имеющихся данных по сопредельным территориям Лаоса и Кампучии будет дан прогноз на выявление перспективных типов месторождений включая порфирировые на территории Вьетнама. Таким образом обобщение имеющихся литературных и собственных материалов коллектива с привлечением новых подходов и методов исследования позволит оценить роль мантийного и корового магматизма и геодинамических условий их проявления для формирования магматогенных и гидротермальных РМС для пермо-триасового этапа Вьетнама. Для тестирования моделей формирования различного типа РМС и получение новых прорывных результатов мирового уровня необходима не только кооперация специалистов различных направлений, работающих в области наук о Земле, но и привлечение к исследованиям новых методов геохимического анализа пород и руд, который разрабатывается в настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН на базе синхротронного излучения. Именно эти задачи и будут определять основные направления исследований в рамках предлагаемого проекта.

За указанный временной период на станции РФА-СИ по этому Проекту был выполнен анализ порядка 250 проб горных пород различного типа (согласно классификации), а именно: габбро, габбро с сульфидами, лерцолит с сульфидами, риолит, риолит с сульфидами, передотит с сульфидами, габбро-долерит, гранит и т.д. В качестве «внешних» стандартных образцов были использованы Государственные стандартные образцы (ГСО): СГД-1а – габбро, СТ-1а – трапп, СГ-3 – агапитовый гранит, СГ-2 – аляскитовый гранит, BCR-1 – базальт (USGS США), AGV-1 – андезит (USGS США) и т.д. Образцы проб облучались монохроматическим поляризованным рентгеновским излучением энергией 28 кэВ. ток пучка в интервале 50 – 100 мА. Энергия выбрана таким образом, чтобы фотопик легкого платиноида располагался перед подъемом пика комптоновского рассеяния, что позволяет получить наилучшую контрастность фотопика палладия и естественно более низкий предел обнаружения элемента. В процессе анализа были определены следующие элементы: K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, Se, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, As, Pb. Диапазон концентраций элемента палладия в пробах габбро с сульфидами и лерцолит с сульфидами

находился в интервале 0,1 – 0.38 ppm, а для пробы N 16-11-7 содержание палладия составило **2,4 ppm**, что с точки зрения оконтуривания рудопроявления является серьезным достижением, так как в Норильских пробах, например Ж-3 составляет палладия около **5,6 ppm**. При этом предел обнаружения элемента составил порядка **0,06 ppm** при времени экспозиции 1000 сек.

Реконструкция динамики ледника Перетолчина (Восточные Саяны, Восточная Сибирь) в позднем голоцене на основе высокоразрешающих био-геохимических летописей из донных осадков прогляциального озера Эхой.

ИНХ СО РАН Трунова В.А

Изучалась динамика ледника Перетолчина расположенного у подножий самой высокой точки Восточных Саян горы Мунку-Сардык. С этой целью, на основе распределения био-геохимических маркеров вдоль кернов донных осадков из озера, примыкающего непосредственно к леднику, будет произведена реконструкция интенсивности поставки талых ледниковых вод в озеро и гидрологических параметров озер в прошлом. Исходя из наличия тесной взаимосвязи между динамикой ледников и климатическими изменениями, предполагается на основе реконструкции параметров ледников в прошлом определить региональные климатические параметры, под действием которых произошли данные изменения.

Керны изучались с шагом опробования в 1, 5 и 10мм, что позволяет получать летописи с разрешением год-декада. Использовался метод - рентгенофлуоресцентный анализ с синхротронным излучением (РФА-СИ) в режиме непрерывного сканирования всего керна;

- инфракрасной спектроскопии;
- палинологический анализ;
- определение изотопов свинца, цезия и углерода;
- геоморфологические исследования и дешифровка данных по дистанционному зондированию Земли.

Было просканировано более 10 колонок (23см длиной каждая) и получены количественные данные по определению в них 20 элементов.

Работа поддержана грантом РФФИ 13-05-00022 А, Реконструкция динамики ледника Перетолчина (Восточные Саяны, Восточная Сибирь) в позднем голоцене на основе высокоразрешающих био-геохимических летописей из донных осадков прогляциального озера.

Организации-исполнители:

Лимнологический институт СО РАН (г. Иркутск), Институт географии СО РАН (г. Иркутск), Институт неорганической химии СО РАН (г. Новосибирск), Институт ядерной физики СО РАН (г. Новосибирск), Институт геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск).

Исследование степени насыщенности гуминовыми кислотами почв разных условий формирования и

разного экологического состояния минеральными элементами при помощи метода РФА-СИ. ИИХ СО РАН Трунова В.А

Организации-исполнители: Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Институт неорганической химии СО РАН, Институт ядерной физики СО РАН.

Базовый проект VI.54.1.4 «Биологические и биогеохимические функции почв как компонента наземных экосистем Сибири», № государственной регистрации 01201350243.

Исследование степени насыщенности гуминовыми кислотами почв разных условий формирования и разного экологического состояния минеральными элементами при помощи метода РФА-СИ.

Использование метода РФА-СИ на установке Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения, ИЯФ СО РАН при выявлении широкого спектра содержащихся в гумусовых кислотах элементов позволяет: определять в пробах миллиграммовой массы элементы, расширить возможный набор определяемых элементов сохранять препараты этого очень значимого в функционировании биосферы природного компонента для дальнейших исследований. По результатам исследования был представлен устный доклад – Трунова В.А., Зверева В.В., Дергачева М.И., Сороколетов Д.В. «Использование метода РФА-СИ для определения элементов в микроколичествах

гумусовых кислот» на Третьем съезде аналитиков России, Москва, 8-13 октября 2017.

Реконструкция годичной динамики ледников Восточной Сибири за последние тысячелетия на основе изучения донных осадков прогляциальных озер и наземных разрезов.

Организации-исполнители:

Лимнологический институт СО РАН (г. Иркутск), Институт географии СО РАН (г. Иркутск), Институт неорганической химии СО РАН (г. Новосибирск), Институт ядерной физики СО РАН (г. Новосибирск), Институт геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск).

На станции РФА - СИ были просканированы десятки кернов из прогляциальных озер Байкальской рифтовой зоны. Нестабильность гидрологического баланса ледников могла быть проявлена в появлении коротко-периодичных осцилляций в поставке ледниковой взвеси в озеро. Подобные эпизоды коротко-периодичных осцилляций отмечаются около 1860, 1950 и 1990 гг., схожи изменения отмечаются и в летних температурах Европы. Предположительно в эти периоды, исследуемые ледники были наиболее нестабильны. В просканированных ядрах из озер Эхой и Преображенское были определены три периода значительного увеличения потока таяния ледника за последние 210 лет.

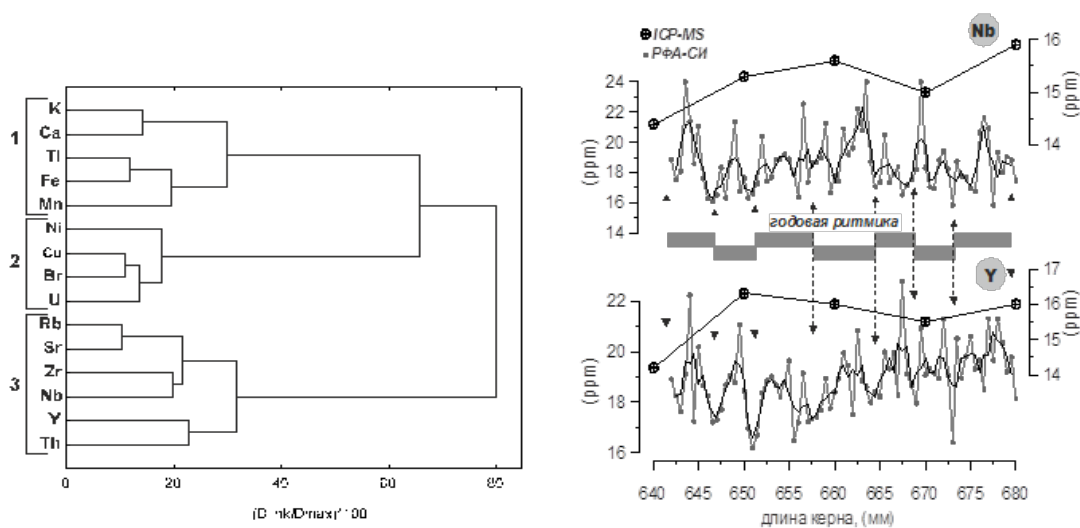


Рис.6.1.23. Пример выделения трех групп элементов кластерный анализ, и разрешающая способность РФА-СИ и ICP-MS методов.

Комплексное изучение носителей культуры Хунну из элитных и рядовых погребений Северо-Восточной Монголии и Забайкалья. ИИХ СО РАН Трунова В.А, ИЯФ СО РАН, Дарьин Ф.А, Сороколетов Д.С.

Организации-исполнители:

ИАЭТ СО РАН, ИИХ СО РАН, ИЯФ СО РАН, ИЦИГ СО РАН.

Были разработаны методики РФА-СИ анализа для широкого спектра образцов органического происхождения. При помощи метода РФА-СИ проанализированы образцы прядей и кос волос из курганов хунну 21, 22, 32. Получены данные о содержании следующих химических элементов: S, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Se, Br, Rb, Sr, Hg и Pb. Во

всех образцах волос было обнаружено крайне высокое содержание Cu, а также Hg.

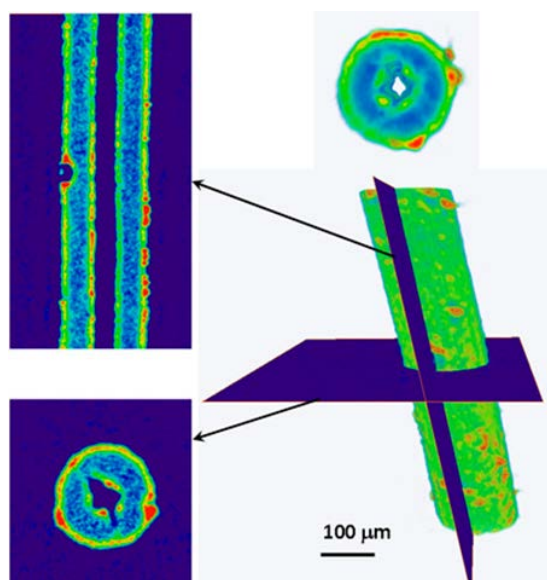


Рис.6.1.24. Распределение Cu и Hg в волосе.

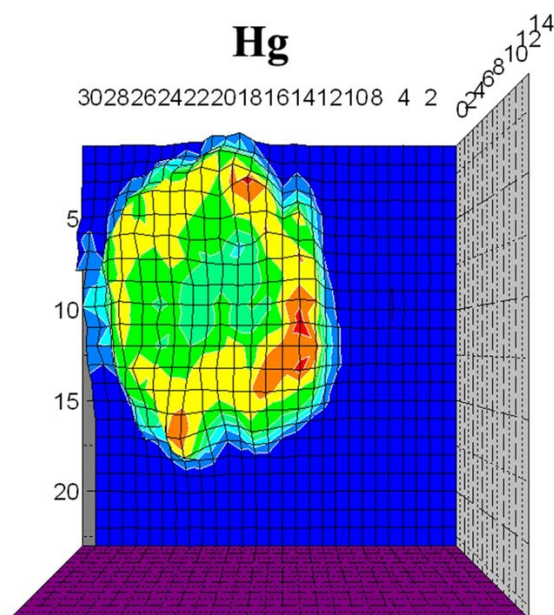


Рис.6.1.25. Распределение ртути в поперечном сечении отдельного волоса. КРМ (19 кэВ, пространственное разрешение 5 мкм).

На экспериментальной станции РФА– СИ в СЦСТИ развивается новый неразрушающий метод конфокальной рентгеновской микроскопии (КРМ) для исследования микрообъектов и визуализации распределения химических элементов в протяженных объектах. Разработанный и установленный на экспериментальной станции прибор основан на применении двух поликапиллярных линз в конфокальной геометрии, имеющих фокусные

размеры $\approx 10\text{--}15$ мкм в зависимости от энергии регистрируемых квантов. Волосы, как протяженный объект, имеющий диаметр в сечении порядка 80—100 мкм, являются идеальным образцом для развития методики анализа с применением КРМ. Были получены первые данные по распределению химических элементов (меди) в поперечном сечении отдельно взятого волоса.

Полученные методом РФА-СИ данные о содержании ртути в 41 образце волос подчиняются экспоненциальному распределению с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,98$, что может свидетельствовать об установлении термодинамического равновесия со средой и косвенно указывать на экзогенный источник поступления ртути в волос или, по крайней мере, на обмен со средой. Поскольку ртуть, очевидно, связана с органической составляющей волоса (кератин, меланин), анализ на органическую/неорганическую форму для установления источника поступления ртути в данном случае не представляет интереса. Тогда как полученные методом КРМ данные о её распределении в поперечном сечении волоса предполагают экзогенный источник её поступления (из среды захоронения), т.к. рисунок указывает на локализацию ртути на периферии стержня волоса.

«Минерально-геохимические особенности техногенных аэрозолей Сибири», Артамонова С.Ю., с.н.с. ИГМ СО РАН

Проблем распространения радионуклидов и тяжелых металлов в среде обитания человека является одной из важных проблем геоэкологии. Изучение содержания урана и тория в техногенных аэрозолях особо актуально из-за связанных с ними рисков для здоровья людей. Поступление радионуклидов в среду обитания человека должно контролироваться, и, по возможности, регулироваться. Основным источником загрязнения городского воздуха являются выбросы ТЭЦ и промышленных предприятий, и содержание в них урана и тория остается важным вопросом. Роза ветров формирует основные ореолы распространения промышленных выбросов, которые могут быть весьма протяженными: например, признаки выбросов Сибирского химического комбината установлены на удалении в 100 км [Артамонова, 2012а].

Целью работы стало оценить радиоактивную уран-ториевую составляющую техногенного аэрозольного загрязнения г. Новосибирска.

Объекты изучения. В Новосибирске действует 4 теплоэнергетических предприятия: два из них ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 расположены на левобережье. Градообразующее предприятие – Новосибирский завод химконцентратов ГК Росатом (НЗХК) обеспечивает энергией ТЭЦ-4, схожий по параметрам на ТЭЦ-3 (см. диаграмму на рис.6.1.26).

Экспериментальная часть. В районе г. Новосибирска в зимнее время в приземном слое

атмосферы преобладают ветры южного и юго-западного направлений, а летом роза ветров становится более изометричной [Климат Новосибирска, 1979]. На высоте 0,5 км в пограничном слое атмосферы происходит поворот доминирующих ветров – начинают преобладать ветры с запада. Основной ореол выбросов формируется согласно розе ветров в северо-восточном направлении, что предопределило основные направления пробоотбора снежного покрова к северо-востоку от г. Новосибирск на удалении до 110 км (рис.6.1.26). Фоновый участок выбран на наветренной стороне – в 12 км к юго-западу от города. Для исключения влияния автодорог точки пробоотбора располагались на расстоянии не менее 200 м. Снежный покров путем проходки шурфов размером до 40×40 см на всю глубину снежного покрова до поверхности земли, отбирались крупнообъемные пробы – от 80 до 200 л снега для получения осадков массой не менее 300-500 мг, достаточном для проведения анализов разными методами. Пробы снега оттаивали в баках, после отстаивания верхний слой декантировали, нижнюю часть фильтровали через бумажный фильтр «синяя лента». Пыльность (содержание взвеси, мг/л) определялась отношением массы взвесей к объему талого снега, среднесуточная техногенная аэрозольная нагрузка ($\text{мг/м}^2 \cdot \text{сут}$) определялась отношением массы взвесей к площади отбора и периоду формирования устойчивого снежного покрова до даты отбора.

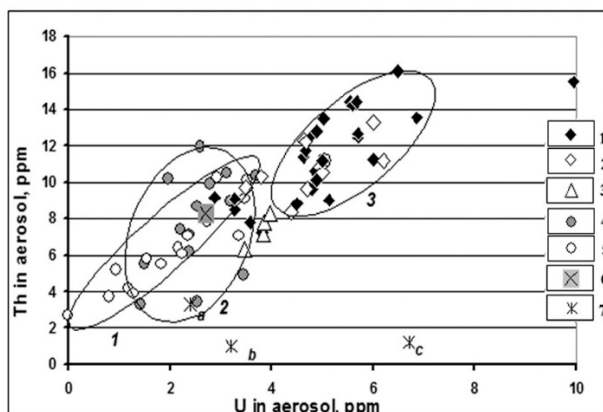


Рис.6.1.26 Содержание Th и U в техногенных аэрозолях, г/г.

Условные обозначения: аэрозоли окрестностей 1 – НЗХК, 2 – ТЭЦ-5, 3 – ОК, 4 – ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3; 5 – юг и юго-восток г. Новосибирска (вне ореолов основных выбросов промышленных предприятий); 6 – фоновый участок, 7 – среднее содержание Th и U в углях Кузбасса (а) и Канско-Ачинского бассейна (б) и Сереульского разреза (в) по Арбузову С.И. [2008, 2009]. Геохимические поля: 1 - вне основных ореолов аэрозольного загрязнения; 2 – ореол ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, 3 – ореол загрязнения ТЭЦ-5.

Элементный состав аэрозолей и почв определялся рентгено-флуоресцентным методом на синхротронном излучении (РФА-СИ) на станции элементного анализа ВЭПП-3 Института ядерной физики им. Будкера СО РАН (аналитик Ю.П. Колмогоров). Согласно стандартной методике, навески проб массой 30 мг прессовались в таблетки диаметром 6 мм [Baryshev et al, 1991]. Этим методом определялось содержание U и Th с нижним пределом обнаружения 0,3 ppm с относительной погрешностью не более 10-15 %. В качестве внешних стандартных образцов использованы международный стандарт почвы SOIL-7 МАГАТЭ. Простая пробоподготовка позволяет избежать рисков потери массы и дает возможность проведения массовых анализов в короткие сроки с получением количественных данных, и это делает РФА-СИ приоритетным методом элементного анализа техногенных аэрозолей.

С применением РФА-СИ выявлены новые данные распределения Th и U и ряда микроэлементов в аэрозолях, золе уноса, золошлаках ТЭЦ-3 и ТЭЦ-5.

При определении содержания U в пробах выявлена хорошая сходимость результатов РФА-СИ с результатами анализа методом ИСП-МС и высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрией (ВПГС) (рис.6.1.27).



Рис.6.1.27. Содержание U в пробах золы уноса и золошлаков ТЭЦ, полученное разными независимыми аналитическими методами.

Продолжается анализ результатов изучения микроэлементного состава почв г. Новосибирска и его окрестностей методом РФА-СИ.

Выявлено, что в почвах содержание урана сравнимо с его кларковым содержанием в земной коре – 2,7 г/т, тория – меньше, всего около 8 г/т. Только в аллювиальных почвах распределение радионуклидов изменяется. На северо-восточной части города выявлен вклад техногенного урана в почвах и содержание урана в верхней 0-5 см горизонте достигает 10.

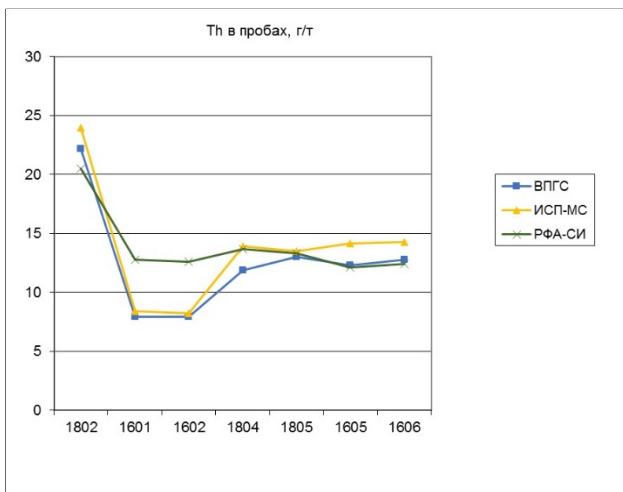


Рис.6.1.28 – Содержание Th в пробах золы уноса и золошлаков ТЭЦ, полученное разными независимыми аналитическими методами.

6.1.5. Канал СИ номер 4 накопителя ВЭПП-3.

Формирование ультрамелкозернистых структур в исходно монокристаллическом жаропрочном интерметаллиде со сверхструктурой L1₂ под воздействием мегапластических деформаций.

Соловьева Юлия Владимировна, Зав. Кафедрой физики ТГАСУ, Анчаров Алексей Игоревич, ст.н.с. ИХТТМ СО РАН, Пилюгин Виталий Прокофьевич, Зав. лаб. СО РАН,

Одним из новых направлений современного материаловедения является получение металлов и сплавов с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой, т.е. поликристаллической структурой с размером зерен в субмикроструктурном (100-500нм) или нанокристаллическом (<100нм) масштабе. Ультрамелкозернистые материалы (УМЗ) могут обладать необычными механическими свойствами, очень высокой прочностью и пластичностью, значительной усталостью и вязкостью, повышенными диффузионными свойствами и способностью к формообразованию, а также улучшенными магнитными свойствами и рядом других привлекательных функциональных и конструктивных свойств. Выяснение физических механизмов формирования УМЗ структур, причин определяющих их хорошие свойства является необходимым условием для создания новых металлических материалов.

Задачи

1. Получить ультрамелкозернистые структуры в полосах суперлокализации монокристаллов Ni₃Ge и с использованием синхротронного излучения исследовать особенности структурно-фазовых превращений в полосе суперлокализации.

2. Изучить термическую стабильность неупорядоченных высокофрагментированных нанокристаллических твердых растворов, полученных в результате мегапластических деформаций монокристаллического интерметаллида, и определить условия и механизмы упорядочения и собирательной рекристаллизации.

Результаты эксперимента:

Исследованы структурно-фазовые превращения в полосе суперлокализации.

С целью изучения структурного состояния в полосе суперлокализации и вблизи нее было проведено рентгеноструктурное исследование на станции 4-го канала СИ накопителя ВЭПП-3 Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера.

В полосе наблюдается текстурированная поликристаллическая ГЦК структура Рис. 6.1.29 Кольцевая дифрактограмма с заметными сгущениями интенсивностей в некоторых местах. Сплошные кольца идентифицируются как основные ГЦК кольца. Это означает наличие всевозможных хаотически распределенных ориентировок, формирование поликристаллической структуры. Сплошных сверхструктурных колец нет, однако есть отдельные кольцевые дуги, что является свидетельством того, что в структуре присутствуют отдельные зерна, имеющие дальний атомный порядок, то есть наблюдается частичное разрушение состояния дальнего порядка в полосе. Индексирование сгущений на основных кольцах показало, что есть преимущественные ориентировки отражающих кристаллографических плоскостей зерен в направлении (110).

Ступенчатый отжиг начинался от температуры равной 200°C, а затем через 1-1,5 часа температура увеличивалась на 10°C. Температура 200°C соответствует для Ni₃Ge гомологической температуре 0,33 T_{пл}. Известно, что характерной особенностью зёрненной структуры после интенсивной пластической деформацией (ИПД) кручением под давлением является её высокая анизотропия. Наблюдается значительно более интенсивная фрагментация кристалла или уменьшение размеров зёрен в направлении оси кручения.

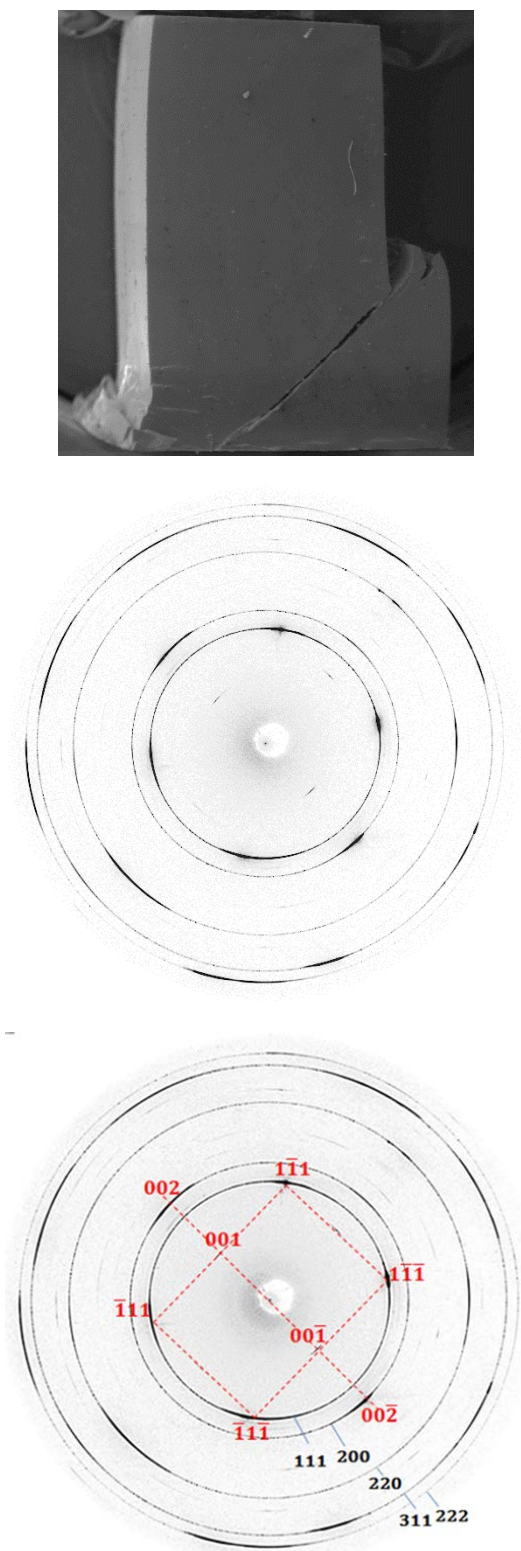


Рис. 6.1.29. Полоса локализации деформации на поверхности монокристалла Ni_3Ge ориентации после деформации с постоянной скоростью $\dot{\epsilon} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{c}^{-1}$ (ширина полосы $l \approx 50 \text{ мкм}$) при температуре 1023 К, $\epsilon \approx 19\%$.

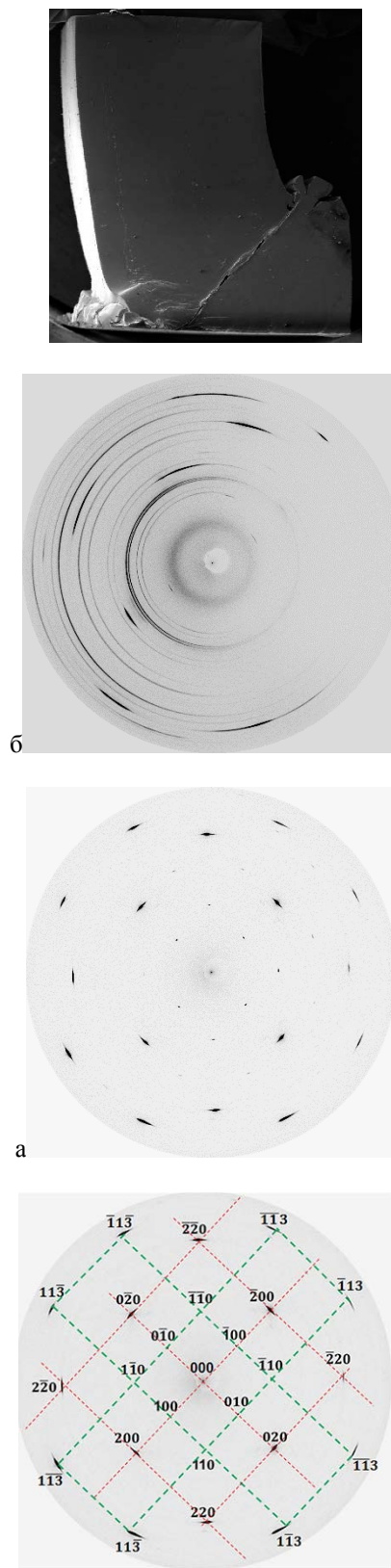


Рис. 6.1.30. Полоса локализации деформации на поверхности монокристалла Ni_3Ge ориентации после деформации с постоянной скоростью $\dot{\epsilon} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{c}^{-1}$ (на

порядок превышает обычную) (ширина полосы $I \approx 24$ мкм) при температуре 973 К, $\varepsilon \approx 20,4\%$.

Эта особенность обнаруживается также и на монокристаллах Ni_3Ge после ИПД в наковальнях Бриджмена. В образцах после деформации кручением под высоким давлением обнаруживается резко выраженная текстура, которая выражена вытянутостью зерен параллельно плоскости. Показано что в полосе локализации происходит фрагментация деформируемого монокристалла. Исходно монокристаллический образец в значительной мере теряет монокристалличность в зоне полосы суперлокализации. Вне полосы локализации, но в непосредственной близости от нее материал находится в монокристаллическом состоянии, слабо разориентирован рис.6.1.30(a). На дифрактограмме идентифицируются три отражающие кристаллографические плоскости: основная плоскость (001) и две плоскости, которые идентифицируются как плоскости (031) (301), угол разориентировки которых относительно плоскости (001) составляет $18,4^\circ$. Это означает, что пучок пересек три кристаллита диаметром не менее 0,1 мм. Внутренняя структура каждого кристаллита характеризуется малоугловыми ($6 \div 7^\circ$) азимутальными разориентировками.

Непосредственно в полосе суперлокализации рис. 6.1.30(б) наблюдается поликристаллическое состояние кристалла, появляются дополнительные кольца, которые могут являться свидетельством наличия других (не ГЦК) фаз, гало на дифракционной картине показывает, что в полосе суперлокализации появляются структурные области с аморфным состоянием.

Изучена термическая стабильность поликристаллического Ni_3Ge , полученного в результате мегапластических деформаций из исходного монокристалла. Изучена кинетика собирательной рекристаллизации и термоупорядочения.

Проведены *in situ* эксперименты по отжигу и одновременной съемке дифракционных картин в синхротронном излучении монокристаллов Ni_3Ge после деформацией кручением под высоким давлением. Нагрев образца осуществлялся печью сопротивления. Температура измерялась с помощью хромель-алюмелевой термопары.

Монокристаллические образцы Ni_3Ge в форме дисков диаметром 2,5 мм и толщиной $h_0 = 0,3 \dots 0,4$ мм, с ориентировкой плоскости образца [111] на твердосплавных (ВК-6, твердость HRC=92) вращаемых наковальнях Бриджмена деформировали кручением со скоростью $\omega = 0,3$ об./мин под давлением $P \approx 8$ ГПа при $T = 293$ К до числа оборотов равного 3 (трем).

Применялись две различные методики отжига: изотермический и ступенчатый. [кручения (111). Это выражается в существенном отличии полуширины рефлексов от плоскостей типа (100) и (111). Полуширина максимума (200) почти в 1,5

раза превышает полуширину максимума (111) после деформации в три оборота. Это означает, что в сечении зерен параллельных кристаллографическим плоскостям (111) области когерентного рассеяния в среднем имеют большую величину. Зерна оказываются «размазанными» в плоскостях, параллельных плоскости кручения (111).] Анализ изменения полуширины основных структурных максимумов (111) и (200) в ходе ступенчатого отжига показывает, что в первые два часа ступенчатого отжига (рис.6.1.31) наблюдаются постепенные структурные изменения. Снимаются внутренние напряжения и увеличиваются области когерентного рассеяния, что отражается на уменьшении полуширины основных структурных максимумов. Полуширина максимумов соответствующих отражениям от плоскостей (111) и (100) постепенно уменьшается на треть. Увеличение температуры до 230°C приводит к тому, что через 24 минуты наблюдается скачкообразное уменьшение полуширины максимума, соответствующего отражению от плоскостей (100) и полуширины основных максимумов выравниваются. Это означает, что фрагментированная структура становится однородной равноосной. Размеры областей когерентного рассеяния по всем кристаллографическим направлениям выравниваются, исчезает текстура. При дальнейшем ступенчатом повышении температуры до 245°C продолжается постепенное снижение внутренних напряжений и рост областей когерентного рассеяния. Структура остается равноосной изотропной.

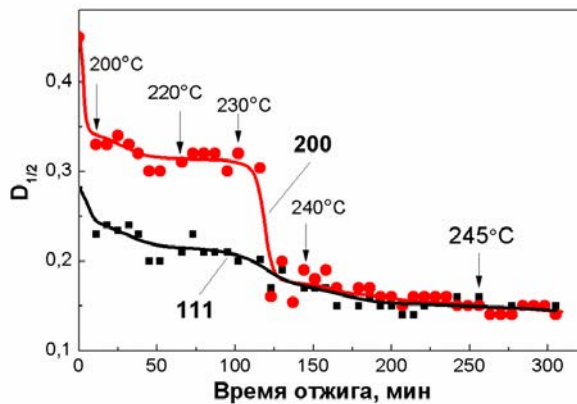


Рис. 6.1.31. Изменение полуширины основных максимумов (111) и (200) в ходе ступенчатого отжига.

Анализ дифрактограмм, полученных *IN SITU* в ходе изотермического отжига при температурах 200°C , 250°C , 300°C , 350°C от исходного деформированного состояния показывает, что происходят явления подобные описанным ранее. Наблюдается сужение и возрастание интенсивности основных дифракционных максимумов (рис. 6.1.32). Обнаруживается восстановление состояния дальнего атомного порядка, что проявляется в появлении сверхструктурных

рефлексов в малоугловых участках дифрактограмм и последующее сужение и возрастание интенсивности сверхструктурных рефлексов по мере увеличения времени отжига (рис. 6.1.33).

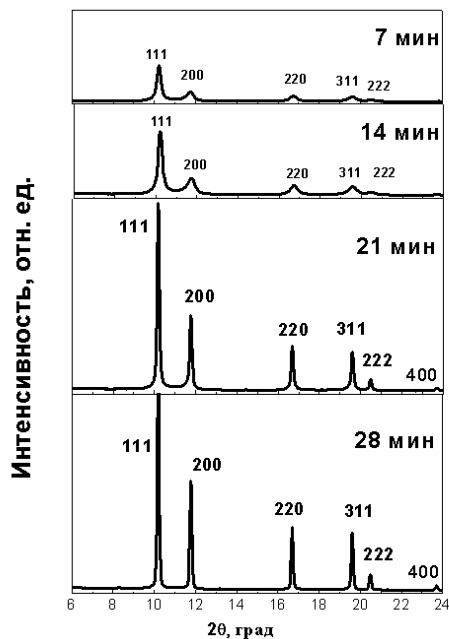


Рис.6.1.32. Изменение дифрактограмм IN SITU в ходе изотермического отжига при 350°C сильнодеформированного монокристалла Ni₃Ge.

Анализ изменения полуширины основных рефлексов при изотермическом отжиге при разных температурах показывает, что при температуре отжига 200С текстура не разрушается рис. 6.1.34. При 250С

текстура разрушается через 14 мин. отжига, наблюдается выравнивание полуширины рефлексов 111 и 200. Интересным экспериментальным фактом является задержка по времени разрушения текстуры при повышении температуры до 300С и 350С. Это может быть связано с двумя взаимно конкурирующими процессами, влияющими на изменение полуширины линии 200: уменьшение областей когерентного рассеяния и появлением упорядоченной фазы. Повышение температуры ускоряет появление упорядоченной фазы, что сказывается на изменении полуширины линии 200.

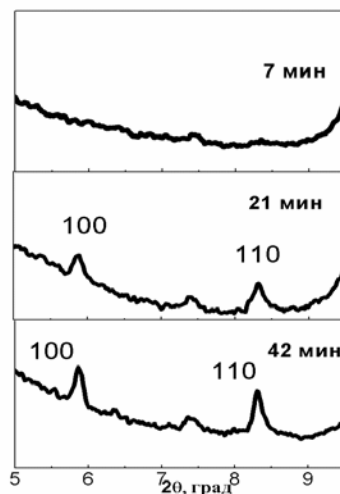


Рис.6.1.33. Изменение малоугловых участков дифрактограмм IN SITU в ходе изотермического отжига при 350°C сильнодеформированного монокристалла Ni₃Ge.

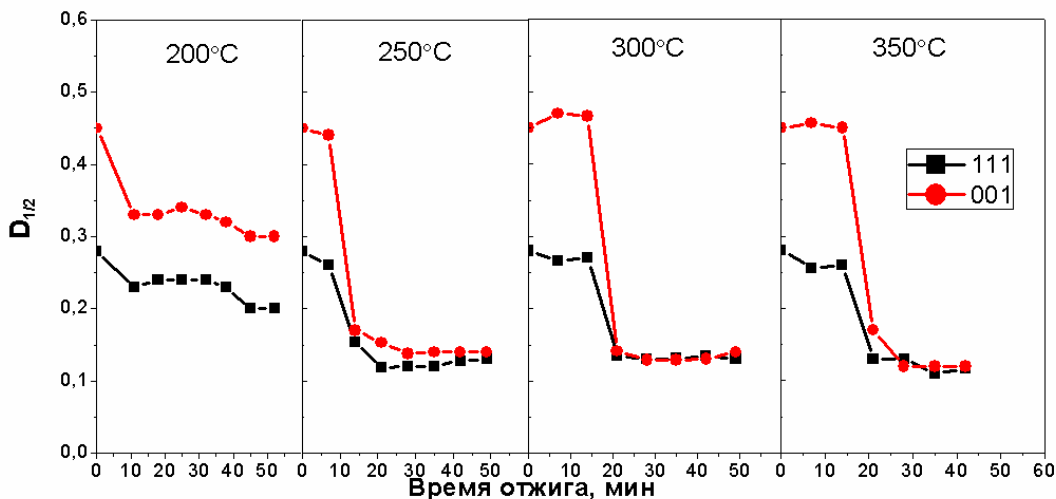


Рис. 6.1.34. Изменение полуширины основных структурных максимумов (111) и (200) в ходе изотермического отжига при разных температурах.

Экспериментальное исследование *in situ* фазообразования при окислении модифицированных порошков алюминия пентоксидом ванадия в условиях программируемого нагрева на воздухе до 1273 К.

Толочко Борис Петрович Зав. Лаб. Методов синхротронного излучения ИХТТМ СО РАН
 Анчаров Алексей Игоревич, ст.н.с., НГУ
 Еселевич Данил Александрович н.с., ИХТТ УрО РАН
 Винокуров Захар Сергеевич м.н.с., ИК СО РАН

Актуальность:

Большинство известных в настоящее время твердых ракетных топлив в качестве металлического горючего содержат порошки алюминия. Добавка алюминия (15-20%) значительно повышает температуру сгорания (на 1000 К и более), что приводит к существенному росту скорости истечения продуктов сгорания и эффективности ракетного топлива, обеспечивая увеличение дальности полета и возможность доставки большей полезной массы. Однако, до настоящего времени, полностью реализовать энергетические возможности алюминия не удалось, что связано с высокими защитными свойствами его оксида и низкой температурой плавления самого металла.

Новизна:

Для снижения защитных характеристик барьерного слоя продуктов окисления на поверхности частиц был разработан метод поверхностного модифицирования микроразмерных порошков алюминия, основанный на их пропитке ванадийсодержащим гидрогелем состава $V_2O_5 \cdot nH_2O$. Исследованная добавка позволила сместить зону начала активного взаимодействия в низкотемпературную область, повысить скорость и полноту окисления микроразмерных частиц алюминия при взаимодействии с кислородом воздуха. Разработан механизм воздействия геля на кинетику окисления Al. Однако остались вопросы, связанные с деталями этого сложного механизма в области температур интенсивного окисления в жидкой фазе.

Цели и задачи:

Целью настоящей работы является разработка способа активации порошка алюминия путем поверхностной его модификации.

Для осуществления поставленной цели необходимо провести подробное рентгенодифракционное исследование окисления модифицированного гидрогелем $V_2O_5 \cdot nH_2O$ порошка АСД-4 в интервале активного взаимодействия (873 – 1073 К), с шагом 3°.

Результаты:

Эллипсометрическое исследование окисления модифицированного порошка алюминия в интервале температур от 303 до 923 К не показало существенного изменения толщины оксидной пленки по сравнению с исходным. Поскольку объектами исследования в этом случае были прессованные порошки в виде таблеток, обработку экспериментальных данных проводили с использованием модифицированной номограммы (рис.6.1.35), предназначенной для расчета толщин и

объемной доли металла в порошках в процессе их окисления. Экспериментальные точки указывают, что для исходного порошка АСД-4 средняя толщина оксидной пленки равна 16 ± 5 нм при объемной доле алюминия $q = 0.93$. Для исходного порошка АСД-4 + V_2O_5 средняя толщина модифицированного слоя (оксид + V_2O_5) оказывалась несколько выше и составляла около 24 ± 5 нм. Соответственно, на толщину оксида ванадия приходилось около 8 нм.

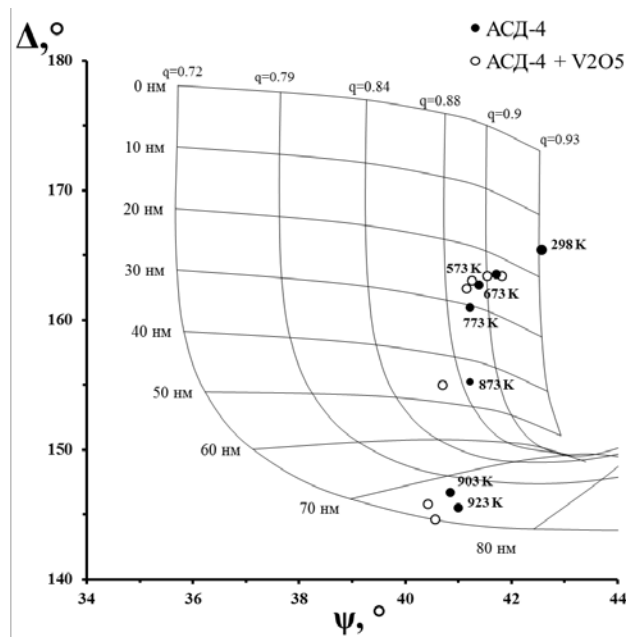


Рис. 6.1.35. Номограмма Δ - ψ для определения толщины оксидной пленки и доли металла в прессованном порошке в процессе окисления.

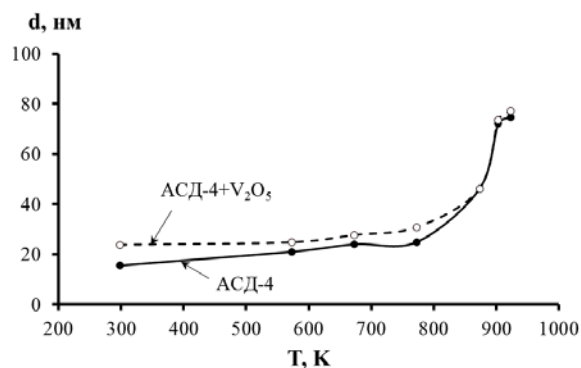


Рис. 6.1.36. Зависимость толщины оксидной пленки в прессованных порошках Al от температуры.

На Рис. 6.1.36 приведены зависимости толщин поверхностных пленок прессованных образцов от температуры, свидетельствующие о том, что во всем исследованном диапазоне 303-923 К прессованные порошки ведут себя одинаково. Значительные изменения на температурных зависимостях наблюдаются при температурах выше 773 К, что

нагрева (рис. 6.1.40) фазовый состав представлен в виде $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, Al_3V , Al_8V_5 . Наличие в структуре порошка указанных интерметаллидов соответствует равновесной диаграмме системы Al-V. На рис.6.1.41 представлена кривая ТГ микронного порошка АСД-4, модифицированного V_2O_5 , на которой указаны температурные области существования зафиксированных дифракционным методом фаз.

В случае нанодисперсного алюминия его высокая реакционная способность делает непригодным порошок для модифицирования ванадийсодержащим гидрогелем, так как он может реагировать с содержащейся в нем водой, вызывая понижение концентрации активного металла. В этой связи предложен альтернативный способ поверхностной активации, основанный на пропитке порошков алюминия ванадийсодержащим раствором, полученный растворением метаванадата аммония в этиленгликоле при слабом нагревании. Использование неводного растворителя понижает вероятность его взаимодействия с металлом и делает возможным проводить активацию порошков алюминия с широким диапазоном степени дисперсности.

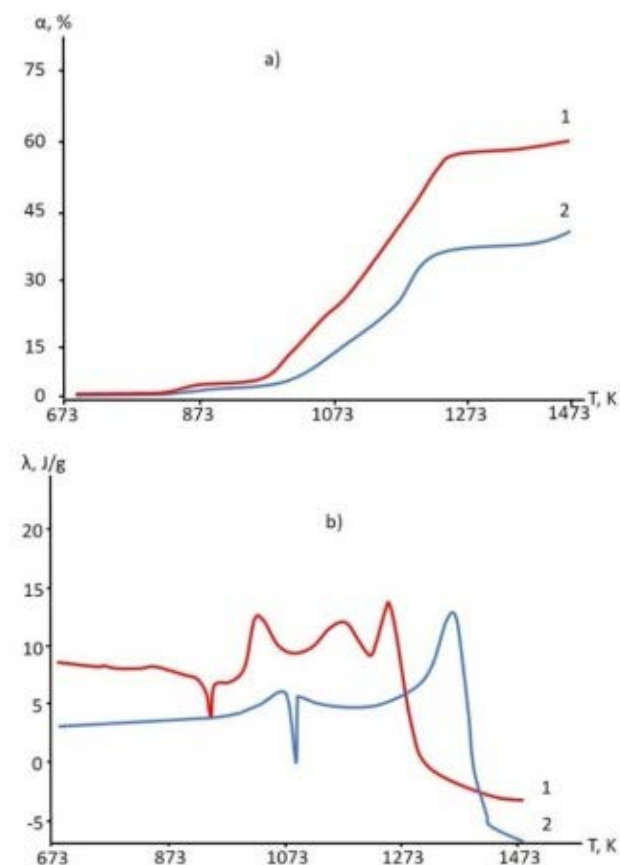


Рис. 6.1.42. Кривые ТГ (а) и ДСК (б), модифицированного NH_4VO_2 (1) и исходного алюминия (2).

По данным термогравиметрического анализа и ДСК (Рис.6.1.42), участку активного окисления исходного порошка АСД-4 при нагревании на воздухе

соответствует пик экзотермического эффекта при температуре 1318 К, степень превращения при 1523 К составляет 44%. Модифицированный метаванадатом в этиленгликоле порошок алюминия начинает заметно взаимодействовать с кислородом воздуха при температуре около 773 К, то есть ниже точек плавления Al (933 К) и V_2O_5 (943 К, получена по кривой ДСК $\text{NH}_4\text{VO}_2 + \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$). Степень превращения модифицированного порошка при температуре 1523 К составляет 60%.

Результаты дифракционных исследований с использованием синхротронного излучения при нагревании образца модифицированного порошка АСД-4 со скоростью 10 К/мин. показали, что на начальной стадии окислительного процесса фазовый состав представлен в виде Al, Al_2O_3 и VO_2 (Рис.6.1.43а). При нагревании до температуры 473 К ванадий меняет свою валентность и наблюдается промежуточная его фаза V_6O_{13} (Рис.6.1.43б). Нагревание образца на воздухе выше 673 К приводит к образованию V_2O_5 (Рис.6.1.43в). Выше этой температуры, то есть после перехода алюминия и модификатора V_2O_5 в жидкое состояние (Рис.6.1.43г), на дифракционных спектрах появляется линии AlVO_4 при одновременном исчезновении линий, соответствующих всем кристаллическим формам оксидов металлов (Al_2O_3 , V_2O_5). Дальнейший рост температуры приводит к появлению на дифрактограмме интенсивных максимумов от оксида алюминия ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) и слабых рефлексов, обусловленных образованием интерметаллидов составов Al_3V и Al_8V_5 (Рис.6.1.43д). На дифрактограммах образцов, снятых при максимально возможной температуре в условиях эксперимента 1373 К, интенсивность линий, принадлежащих металлическим фазам заметно снижается, уменьшается гало от жидкой фазы (Рис.6.1.43е).

Исходя из полученных экспериментальных данных видно, что многообразие практически одновременно протекающих процессов в объеме и на поверхности образца, связанное с поливалентностью ванадия, и низкотемпературное разрушение оксидной оболочки способствует эффективному переносу окислителя (кислорода) к металлической поверхности.

Проведено обобщение ранее полученных результатов исследований влияния Ca, Ba и $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ на стабильность оксидной пленки и механизм окисления дисперсного алюминия. Показано, что кальций, барий (объемная модификация) и пентоксид ванадия (поверхностная модификация), использованные в качестве модификаторов, позволяют значительно увеличить полноту и скорость окисления порошков алюминия типа АСД-4, применяемых в качестве горючих в составах смесевых ракетных топлив. На рис. 6.1.44 представлено сравнение модификаторов: Ca, Ba, $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$.

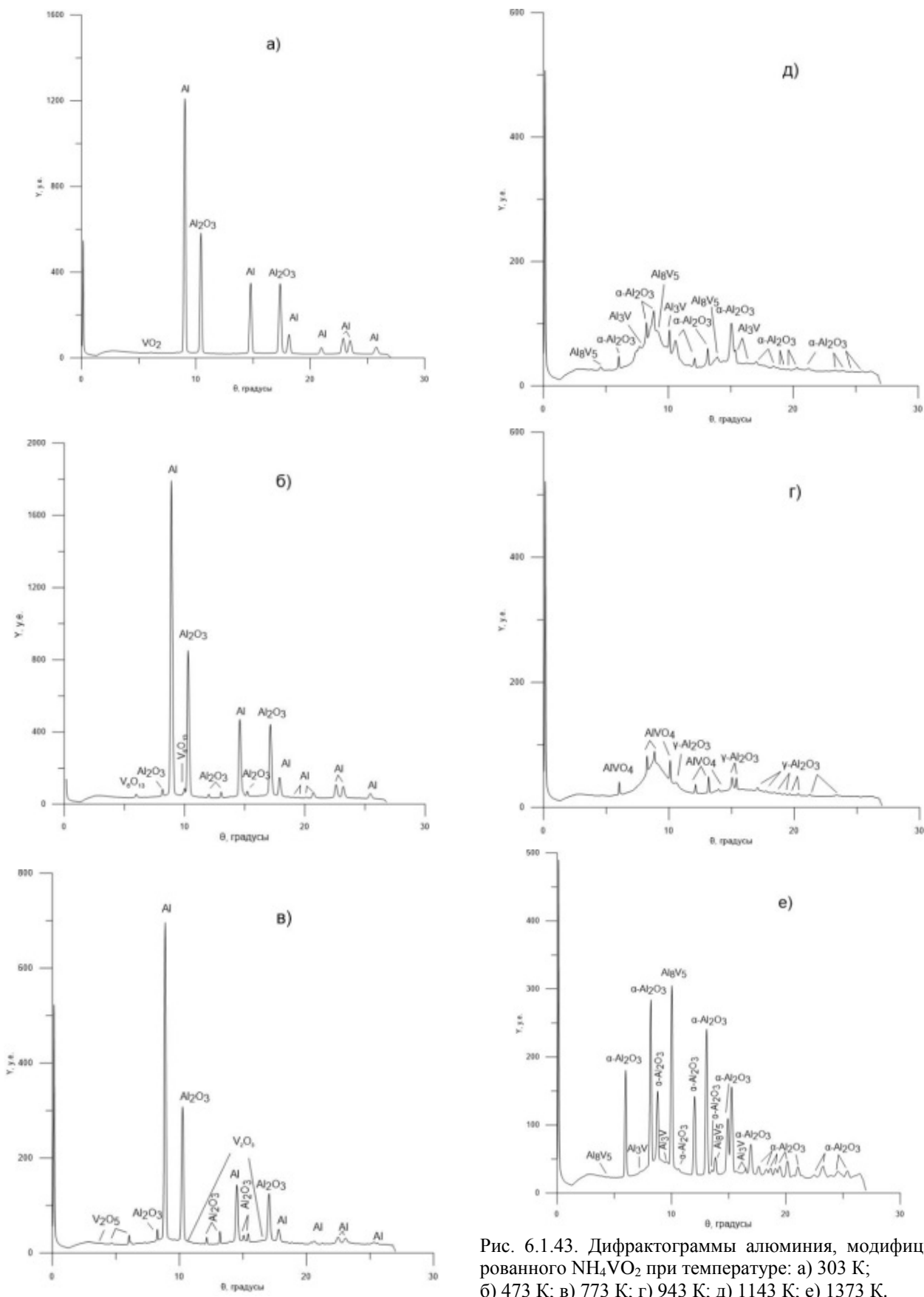


Рис. 6.1.43. Дифрактограммы алюминия, модифицированного NH_4VO_2 при температуре: а) 303 К; б) 473 К; в) 773 К; г) 943 К; д) 1143 К; е) 1373 К.

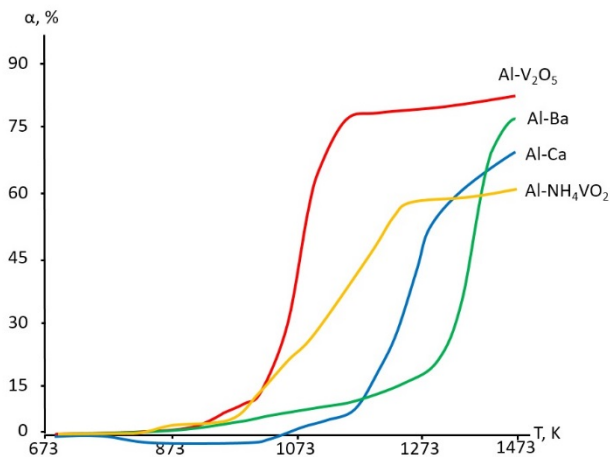


Рис. 6.1.44. Кривая ТГ модифицированного порошка АСД-4: Ca, Ba, V₂O₅·nH₂O; NH₄VO₃+НОСН₂СН₂ОН.

Разработка методики получения композиционных высокотемпературных материалов с использованием высокоинтенсивных потоков электронов.

Анчаров Алексей Игоревич, с.н.с. ИХТТМ СО РАН
Актуальность:

Композиционными материалами называют сплошные материалы из двух и более компонентов с четко различимыми границами. Входящие в состав композита фазы могут обладать различающимися физико-химическими свойствами. Различие свойств позволяет создать материалы, которые сочетают полезные свойства входящих в их состав составляющих. Наиболее распространённым методом получения композиционных материалов является пропитка материалами стойкими к разрыву, материалами, хорошо выдерживающими сжатие (железобетон), упругими (материал для покрышек) и т.д. В настоящее время очень мало композиционных материалов способных работать при высоких (свыше 2000 С) температурах. Электронно-лучевая обработка материалов позволяет быстро разогреть локальный объем образца. Повышенная энергия позволяет проводить процессы, которые в обычном эксперименте невозможны.

Задачи:

Путем облучения потоком электронов с энергией 60 кэВ от установки электронно-лучевой сварки (ИЯФ СО РАН) механоактивированной смеси порошков вольфрама и диборида титана получить композиционный материал.

Используя возможности станции на 4-ом канале накопителя ВЭПП-3 провести исследования фазового состава полученного композиционного материала.

Результаты эксперимента:

В качестве модельного объекта для исследований была выбрана механоактивированная смесь порошков борида титана TiB₂ и вольфрама. Время механохимической обработки составляло 40сек. Целью мехактивации было получение механо-

композита с увеличенной площадью межфазных границ. По имеющимся данным данный композит мог быть перспективным высокотемпературным катодным материалом, а также быть использован в качестве защитного материала от нейтронного и рентгеновского облучения. Оба материала имеют высокую температуру плавления. Вольфрам плавится при 3422°С, а борид титана TiB₂ при 3225°С. Они также имеют хорошую теплопроводность. Плотность вольфрама в 4,2 раза превышает плотность диборида титана. О системе вольфрам – диборид титана в научной литературе ничего обнаружить не удалось. Предполагалось, что при электронно-лучевой обработке может образоваться композит с вольфрамом и диборидом титана. Если при высоких температурах произойдет взаимодействие между вольфрамом и диборидом титана, то может быть получен композит с соединениями входящих в состав композита элементами. По данным кристаллографической базы данных тройных соединений вольфрама, титана, и бора не зарегистрировано.

Процесс облучения реакционной смеси проводили на электронно-лучевой установке для термической обработки материалов с магнитным поворотом электронного пучка, разработанной и изготовленной в Институте ядерной физики СО РАН. Ускоряющее напряжение составляло 60 кэВ, ток 5 мА, размер фокусного пятна 1 мм. Реакционную смесь помещали в графитовые лодочки с внутренними размерами 20*4*1.5 мм и устанавливали в вакуумную камеру, которую откачивали до высокого вакуума. Облучение образца порошка механокомпозита проводилось путем сканирования пучка электронов по поверхности образца, со скоростью 2 мм/сек.

Дифракционные исследования структуры полученных образцов проводили с использованием «жесткого» (энергия квантов 33,7 кэВ) синхротронного излучения (СИ) на станции 4-го канала СИ накопителя ВЭПП-3 Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения.

Рентгеноструктурный анализ фазового состава механоактивированной смеси порошка показал, что кроме вольфрама и диборида титана присутствуют, вероятно, следовые количества WB и сильно искаженного W₂B (рис.6.1.45).

После электронно-лучевой обработки поверхность образца представляла полосу композита с зеркальным блеском, в том месте, где по поверхности образца двигался пучок электронов, и матовые полосы композита серого, металлического цвета по краям. По данным рентгеноструктурного анализа все области имеют практически идентичные дифрактограммы (рис.6.1.46).

Как видно из дифрактограмм, образец композита состоит из трех фаз: борид вольфрама, из борид титана с искаженной решеткой и не определенной на настоящий момент фазы. Вероятно это соединение типа (W,Ti)B₂. По виду дифракционной картины

видно, что у третьей фазы размер кристаллитов меньше, чем у первых двух фаз. Вероятно, реакции образования составляющих композита идут с выделением тепла. Поэтому, в зоне облученной пучком происходит плавление композита, а в соседних

областях за счет протекания СВС процесса происходит спекание частиц композита. Электронно-микроскопические изображения плавленого и спеченного композита представлены на рис.6.1.47.

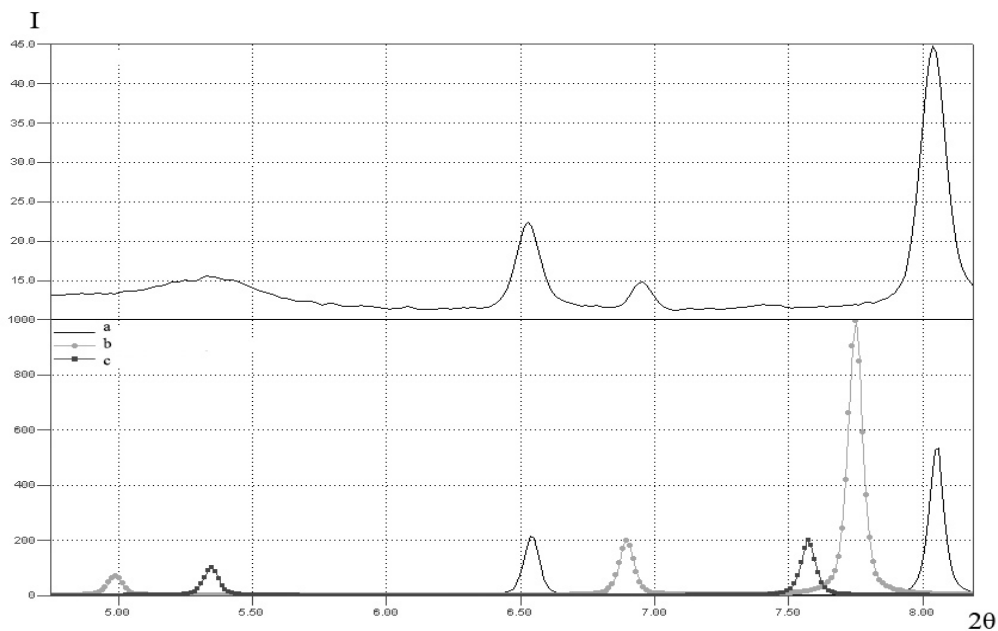


Рис.6.1.45. Дифрактограммы от полученного композита (вверху), в сравнении с эталонными дифрактограммами от TiB₂ и WB (внизу). а-TiB₂; б- дельта WB; в- WB₂.

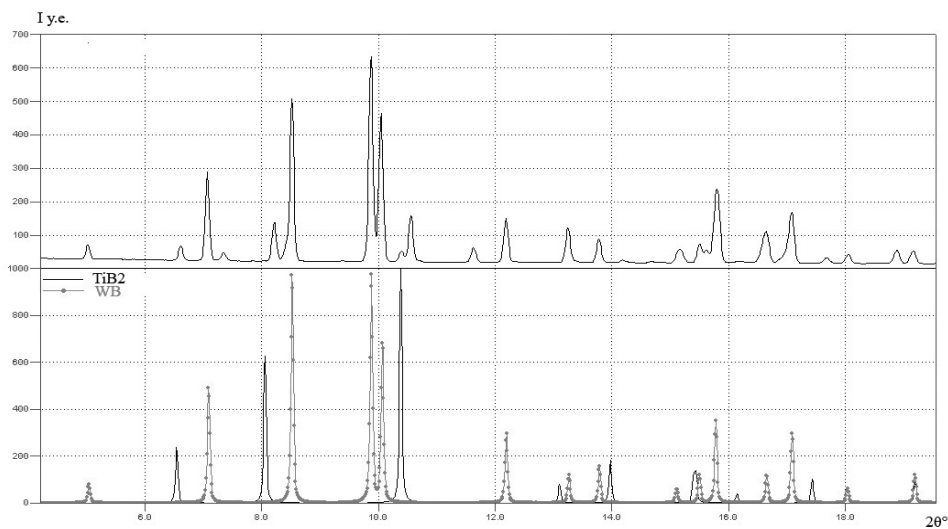


Рис.6.1.46. Дифрактограмма от композита полученного электронно-лучевой обработкой (вверху) в сравнении с эталонными дифрактограммами от TiB₂ и WB.

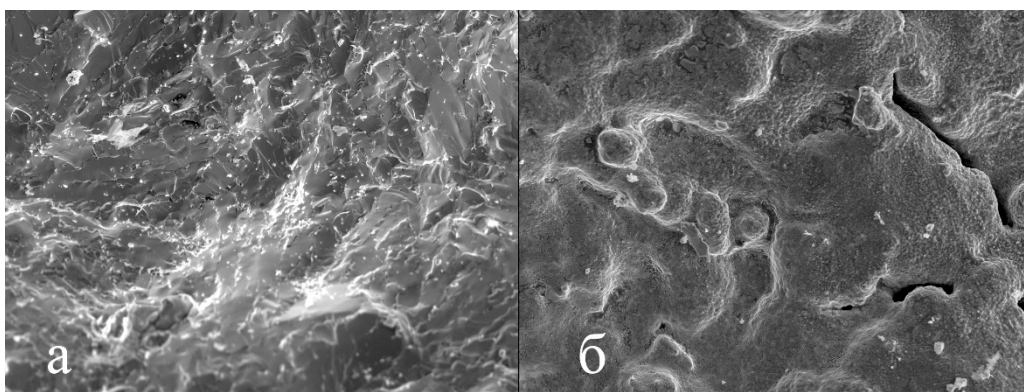


Рис.6.1.47. Электронно-микроскопическое изображение поверхности скола полученного композита а - плавленного; б - спеченного.

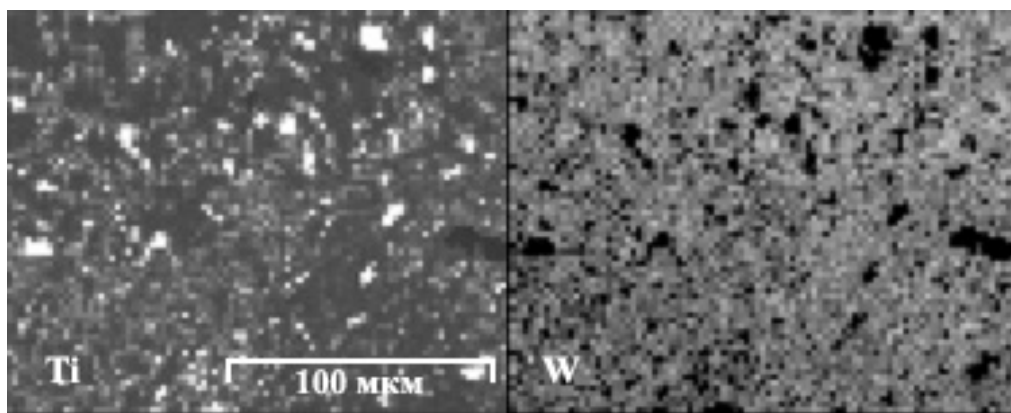


Рис.6.1.48. Электронно-микроскопическое изображение поверхности композита полученное в характеристическом изображении титана (слева) и характеристическом излучении вольфрама (справа).

Электронно-микроскопические изображения поверхности скола плавленного композита полученные в характеристическом излучении вольфрама и титана представлены на рис. 6.1.48. Светлые участки представляют собой фазы с высокой концентрацией вольфрама и титана соответственно.

Заключение:

Как видно из представленных результатов, электронно-лучевая обработка позволяет получать высокотемпературные композиты достаточно просто и с малыми энергзатратами. Высокие температуры и ионизирующая способность электронов позволяют получать композиционные материалы с новыми химическими соединениями. Использование аддитивных технологий позволит получать изделия, которое смогут работать в условиях высоких температур и обладают новыми свойствами.

Механосплавление методом КВД в системах ограниченной растворимости.

Пилюгин Виталий Прокофьевич

Актуальность.

В современном физическом материаловедении весьма актуально получение новых материалов и

сплавов с особыми физическими и функциональными свойствами. На настоящее время широко используется методы механического сплавления, применение которых позволяет получать сплавы в системах элементов с различной растворимостью. Существует необходимость выполнения комплексного исследования структурных превращений при механическом сплавлении гетерогенных смесей элементов на различных стадиях их обработки. Метод кручения под высоким давлением (КВД) на наковальнях Бриджмена является весьма перспективным для таких целей, т.к. позволяет производить деформационную обработку сплавляемых компонентов, в результате которой получают цельные образцы, пригодные для дальнейших исследований. Метод позволяет реализовать наибольшие величины пластической деформации. Для метода характерно проявление неоднородности распределения деформационно-обусловленной структуры по толщине образца, особенно на малых величинах обработки. Данное обстоятельство может говорить о неоднозначном соответствии структурно-фазового состояния формирующихся сплавов от величины деформации

для сплавов различных систем. Вследствие высокой проникающей способности синхротронного излучения выполнение данных исследований целесообразно выполнять в СЦСТИ ИЯФ СО РАН.

Новизна.

Для ряда систем ограниченной растворимости (Cu-Ag, Au-Co) получены сведения о структурно-фазовых особенностях сплавов, синтезированных кручением под высоким давлением, полноте деформационного растворения этих систем и влиянии на нее физических параметров обработки (температуры, давления и величины деформации).

Стоит отметить, что впервые структурно аттестован механически синтезированный сплав системы Au-Co.

Установлена стадийность структурно-фазовых превращении в результате интенсивной пластической деформации системы Au-Co. Обработка осуществлялась при комнатной температуре и температуре кипения жидкого азота.

Цели и задачи.

Установить особенности формирования механически синтезируемых сплавов систем ограниченной растворимости от гетерогенной смеси до состояния твердого раствора и выявить влияние параметров обработки (температуры, давления и величины деформации).

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Охарактеризовать структурное состояние механически синтезированных твердых растворов методом рентгеновской дифрактометрии в т.ч. с использованием СИ.

2. Установить влияние параметров обработки на степень механического растворения компонентов систем.

3. Изучить стадийность формирования сплавов при обработке методом КВД.

4. Исследовать термическую стабильность механически синтезированных сплавов.

Что сделано:

В системе Cu-Ag для всего диапазона взаимных концентраций компонентов установлено образование твердых растворов замещения. В случае состава с 80 ат. % меди и 20 ат. % серебра установлено образование ГЦК твердого раствора на основе меди, по составу близкого к соотношению компонентов в шихте. Если в геометрии съемки на отражение с помощью дифрактометра было установлено полное растворение, то благодаря высокой проникающей способности СИ в геометрии на просвет, в объеме образца обнаружено неполное взаимное растворение меди и серебра. Более того, при снижении температуры деформации до температуры кипения жидкого азота, выявлено образование твердого раствора на основе меди с еще большей неполнотой взаимного растворения по сравнению с комнатной температурой обработки.

В случае деформации смеси компонентов системы Au-Co (в двух соотношения Au к Co как 80:20 и 50:50)

установлено что при обеих температурах деформации формируется твердый раствор замещения на основе золота, причем растворимость при криогенной температуре обработки оказалась выше, чем при комнатной.

По данным дифракционных спектрах синхротронного излучения и изменения периода решетки деформационно формирующегося твердого раствора на основе золота установлены три стадии изменения структурно-фазового состава.

6.1.6. Станция детонации ВЭПП-3 и станция динамических процессов ВЭПП-4М.

Исследование образования наночастиц в экстремальных условиях высоких температур и давлений методами синхротронного излучения.

Толочко Борис Петрович Зав. Лаб. Методов синхротронного излучения ИХТТМ СО РАН

Участвующие организации:

- Институт гидродинамики СО РАН,
- Российский федеральный ядерный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики (ВНИИТФ), г. Снежинск,
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
- Институт ядерной физики СО РАН.

В СЦСТИ активно работают учёные Российских ядерных центров РФЯЦ ВНИИТФ г. Снежинск и РФЯЦ ВНИИЭФ г.Саров. Одна из основных задач - исследование поведения материалов в экстремальных условиях высоких температур (10000 °С) и давлений (до 10 млн атм) реализуемых в течении нескольких микросекунд. Оказалась что методы СИ наиболее адекватны для решения таких задач.

Получены уникальные результаты мирового уровня.

В частности: 1) впервые в мире исследованы процессы зарождения и роста размеров наноалмазов при детонации взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом, в том числе в ВВ. используемых для изготовления специзделий; 2) также впервые в 2017 году обнаружен эффект образования наночастиц на поверхности различных материалов во время развития неустойчивости Релея-Тейлора.

Несмотря на то, что детонационные алмазы обнаружены более 40 лет назад, никто не наблюдал процесс зарождения наноалмазов и роста их размеров. Впервые эксперимент по наблюдению этих эффектов был поставлен в Институте ядерной физики СО РАН в 1999 году. Наши данные были подтверждены в США только в 2017 году после длительной дискуссии в литературе и на конференциях, т.к. американцы в течении нескольких лет не могли зафиксировать рост размеров наноалмазов.

Разработанная методика оказалась практически важной для РФЯЦ ВНИИТФ и РФЯЦ ВНИИЭФ, т.к.

позволяет измерить количество вещества, перешедшего из газа в твердую фазу, и соответственно не участвующего в процессе обжигания плутония. Полученные экспериментальные данные по образо-

ванию твердой фазы в зоне разлета детонации в настоящее время учитываются в соответствующих кодах моделирующих процесс детонации боевых зарядов российских ядерных центров.

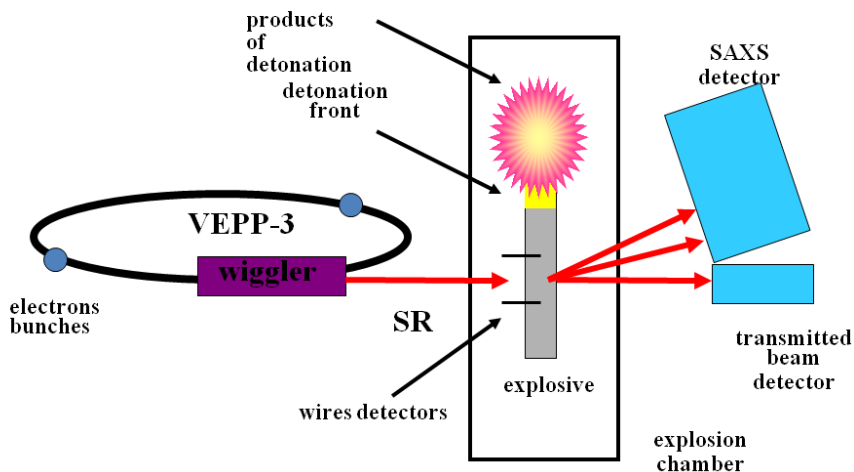


Рис. 6.1.49. Схема эксперимента по исследованию образования и росту наноалмазов во взрывчатых веществах с отрицательным кислородным балансом.

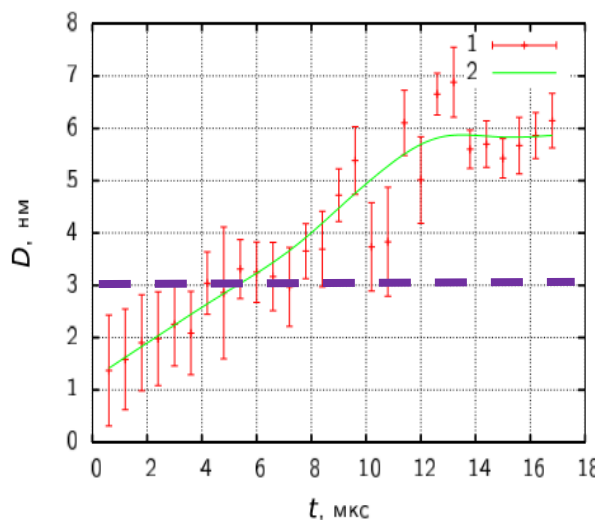


Рис.6.1.50. Экспериментальные данные по росту размеров наноалмазов во время детонации тротила (зелёная кривая).

Данные американских исследователей из Argonne National Laboratory в 2016 году, свидетельствующие об отсутствии роста наноалмазов во время детонации (фиолетовая пунктирная линия). В 2017 году американские ученые подтвердили данные российских ученых.

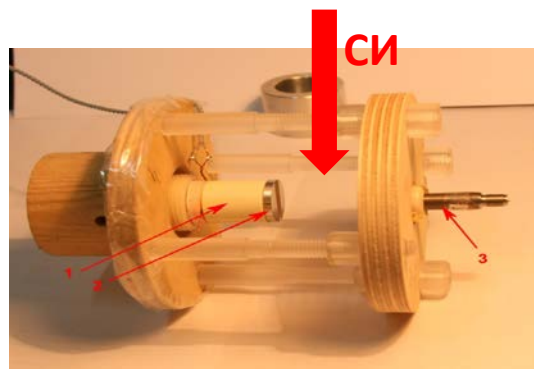


Рис. 6.1.51. Фото экспериментального узла по измерению распределения плотности пылевого облака и регистрации в нём наночастиц. 1 – заряд ВВ, 2 – образец из олова с возмущениями (нанесённый профиль), 3 – пьезодатчик.

Процессы, происходящие на границе раздела двух фаз во время развития неустойчивости Релея-Тейлора активно исследуются в российских ядерных центрах. Использование синхротронного излучения позволило обнаружить новый эффект, не наблюдавшийся ранее – образование наночастиц вещества (олово, цинк) в кумулятивных струях инжектируемых с поверхности исследуемых изделий. Исследуемое явление чрезвычайно важно для понимания процессов, происходящих при работе специзделий, разрабатываемых российскими ядерными центрами.

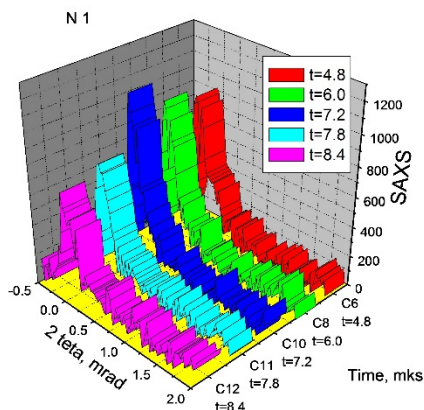


Рис. 6.1.52. Динамика МУРР. Разными цветами показаны распределения МУРР в разное время. Зеленая и красная кривые – исходный МУРР. Синий – пролет пылевого облака, Бирюзовый – пролет диска.

6.1.7. Канал СИ 8, ВЭПП-3.

"EXAFS-спектроскопия"

ИНХ СО РАН (С.Б. Эренбург, С. В. Трубина)

Целью наших исследований является определение параметров пространственного строения, элементного состава и электронных свойств многослойных наногетеросистем, изучение диффузии и деформаций на границах раздела GaN/AlN и Ge/Si методами XAFS спектроскопии, а также установление корреляций между структурными, электронными параметрами и физическими (оптическими, магнитными, транспортными) свойствами таких систем.

Впервые проведен анализ микроstructures образцов, полученных в результате облучения ионами Mn^{2+} квантовых точек (КТ) Ge в кремниевой матрице. Впервые из анализа формы и положения MnK XANES спектров достоверно установлено, что марганец в образце существенно положительно заряжен. Из анализа GeK EXAFS спектров определено заметное присутствие Mn в первой сфере окружения Ge (определены координационные числа и межатомные расстояния). Таким образом, для подобных систем впервые обнаружены непосредственные контакты атомов германия с ионами марганца.

Впервые в рамках использовавшихся методов (спектроскопии ближней и протяженной тонкой структуры рентгеновского поглощения (спектры XANES и EXAFS, соответственно), атомно силовой микроскопии (АСМ), сканирующей туннельной микроскопии (СТМ)) проведено исследование особенностей микроstructures и элементного состава многослойных систем Ge/Si, содержащих КТ. Системы получены методом одновременной молекулярно-

лучевой эпитаксии (МЛЭ) Ge и Mn при различных условиях синтеза, в частности, с разным содержанием примеси Mn. Из анализа GeK EXAFS спектров определены координационные числа и межатомные расстояния, во всех образцах обнаружено интенсивное перемешивание атомов Ge/Si, в соотношении близком к 50/50. Степень диффузии коррелирует с температурой роста КТ. Установлены корреляции величин координационных чисел Si и Mn в сфере окружения Ge как с температурой, при которой были выращены квантовые точки, так и с другими условиями синтеза, с количеством марганца в КТ. Из анализа XANES спектров, установлено, что зарядовое состояние германия в образцах весьма чувствительно к условиям синтеза: к содержанию марганца, присутствию защитного низкотемпературного Si-покрытия, а также к температуре синтеза КТ.

Гексагональные [0001]-ориентированные гетеро-структуры с предельно узкими (~1 нм) квантовыми ямами (КЯ) GaN в матрице AlN были синтезированы на AlN буфере методом МЛЭ и охарактеризованы методом комбинационного рассеяния света (КРС), рентгеновской дифракции (РД), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и расчетами с использованием спектров фотолюминесценции (ФЛ). Влияние температуры роста на степень перемешивания гетерограниц GaN/AlN было изучено методом EXAFS-спектроскопии. Из анализа GaK EXAFS данных для образцов, следует, что диффузия существенно увеличивается с увеличением температуры синтеза и при последующем отжиге. Перемешивание в граничном слое Ga-Al составляет порядка 30; 35; 40% для образцов синтезированных при температурах 795° С, 845° С и 895° С, соответственно, а после отжига при 1000° С перемешивание заметно увеличивается (до 35; 40; 45%).

Для изучения атомной структуры и выяснение причин возникновения остаточных упругих напряжений в слоях AlGa_{1-x}N методом аммиачной МЛЭ были выращены слои Al_xGa_{1-x}N с $0 \leq x_{Al} \leq 1$. Данные EXAFS-спектроскопии показывают, что координационные числа в парах Ga-Ga и Ga-Al во второй координационной сфере линейно изменяются с содержанием алюминия в слоях AlGa_{1-x}N, что свидетельствует о случайном расположении атомов Al в катионной подрешетке и отсутствии упорядочения и кластерообразования. Длины связей между атомами галлия и азота (R_{Ga-N}) в первой координационной сфере, между атомами второй координационной сферы R_{Ga-Ga} и R_{Ga-Al} также изменяются монотонно с составом. Легирование кремнием не влияет на структурные характеристики слоев. Данные РД показывают, что постоянные кристаллической решетки (a и c) и плотность дислокаций монотонно зависят от состава AlGa_{1-x}N, при этом знак и величина упругих напряжений достаточно резко меняются при $x_{Al} > 0.5$. Анализ методом АСМ показал, что при $x_{Al} > 0.5$

изменяется морфология слоев, гексагональные блоки сливаются в сплошную пленку.

В продолжение начатых исследований с использованием метода EXAFS- спектроскопии установлена однозначная корреляция между микроструктурными и оптическими параметрами GaN/AlN сверхрешеток. Из анализа картины малоугловой РД обнаружено присутствие двух или нескольких близких сверхрешеток, параметры которых близки к значениям, определенным из малоугловой дифракции (МРД).

При расчете энергетического спектра наносистем и при интерпретации экспериментальных результатов, связанных с его особенностями, а также при конструировании элементов с заданными электронными свойствами необходимо учитывать особенности изменения их локальной структуры. Известно, что локальные искажения структуры в тонких слоях и нанокластерах не могут быть определены традиционными методами рентгеноструктурного анализа или электронно-дифракционными методами из-за отсутствия дальнего порядка упорядочения в подобных системах. Методы EXAFS (extended X-ray absorption fine structure) и XANES (X-ray absorption near-edge structure) спектроскопии с использованием мощных источников синхротронного излучения предоставляют уникальную возможность для решения подобных задач.

Полупроводниковые наноструктуры Ge/Si

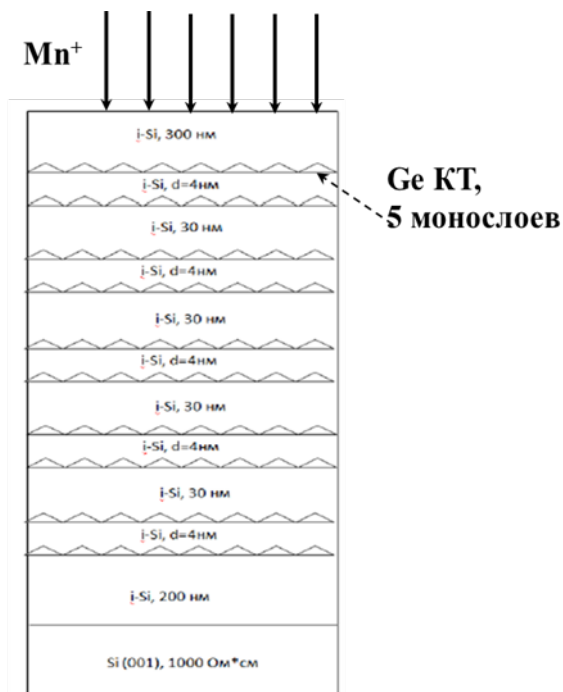


Рис. 6.1.53. Схема структуры с двойными слоями квантовых точек.

В рамках использовавшихся методов впервые проведен сравнительный анализ микроструктуры образцов разбавленных растворов Mn в квантовых точках Ge в кремниевой матрице, полученных в результате облучения ионами. Для эксперимента были синтезированы структуры с двойными слоями квантовых точек, разделенных прослойками 4 нм. Сверху структуры были закрыты слоем Si толщиной 300 нм (Рис. 6.1.53). Образцы облучались ионами Mn⁺ с энергией 80 кэВ и дозой ~ 2*10¹⁶ см⁻² при температуре 300°С. Затем стравливались ~ 120 нм верхнего слоя кремния для получения спектров EXAFS с достаточной интенсивностью.

Спектры XANES и EXAFS в области Mn и Ge K краев поглощения получены во флуоресцентном режиме при комнатной температуре. В качестве входного кристалла - монохроматора использовался Si(111). Угол падения пучка на образец ~ 1°.

Хотя количество марганца в образцах было существенно ограничено возможностями методики его приготовления, впервые из XANES спектров удалось достоверно установить, что край поглощения MnK существенно изменился по форме и положению по сравнению с краем металлического Mn (сдвинут в сторону больших энергий) (Рис.6.1.54), т.е. марганец в образце после облучения ионами Mn⁺ существенно положительно заряжен.

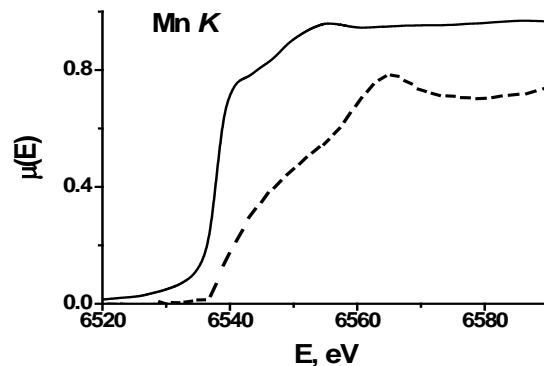


Рис. 6.1.54. MnK- края поглощения для образца, облученного ионами Mn⁺ (пунктир) и Mn металлической фольги (сплошная линия).

Край поглощения Mn в образце, после его облучения Mn⁺, существенно отличается по форме и сдвинут в сторону 'больших энергий относительно края металлического Mn, т.е. марганец в образце существенно положительно заряжен.

Впервые проведен анализ EXAFS спектров такого образца. Осциллирующие части спектров поглощения $\chi(k)$, определены в интервале $\Delta k = 3 - 14,0 \text{ \AA}^{-1}$ для спектров Ge (Рис.6.1.55) и интервале $\Delta k = 3 - 11,0 \text{ \AA}^{-1}$ для спектров Mn (радиальная структурная функция $|F(R)|$ для того же образца - на Рис.6.1.56) и получены с использованием программ VIPER и Athena, соответственно. Моделирование проводилось в

программе EXCURVE для фильтрованных в R-пространстве спектров ($\Delta R = 1,2 - 2,4 \text{ \AA}$ для спектров Ge и $\Delta R = 1,1 - 2,7 \text{ \AA}$ для спектров Mn). Для уточнения межатомных расстояний и координационных чисел моделирование проверялось и на нефильтрованных спектрах.

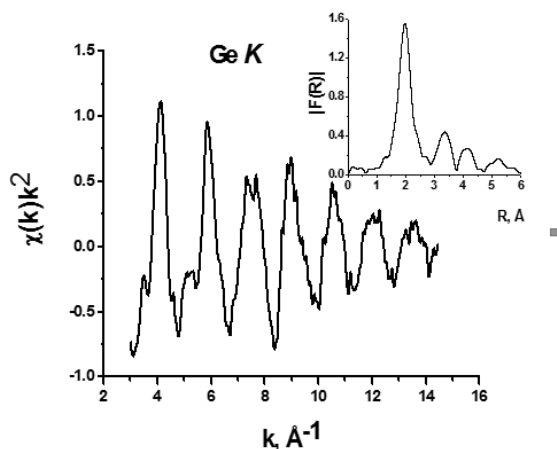


Рис.6.1.55. GeK EXAFS экспериментальный спектр образца, облученного ионами Mn^{+} и модуль Фурье-преобразования (радиальная структурная функция без учета фазового сдвига) - внутри рисунка.

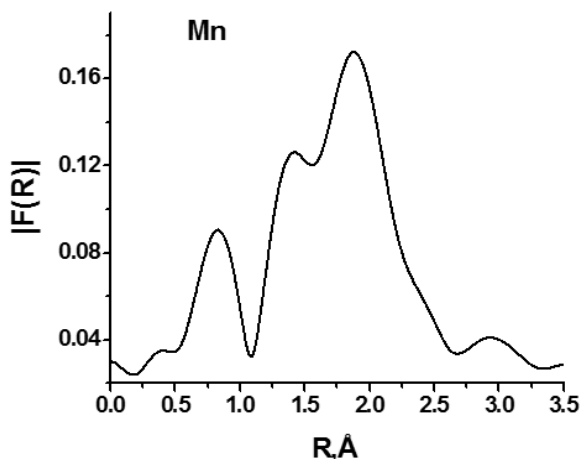


Рис.6.1.56. Модуль Фурье-преобразования (радиальная структурная функция без учета фазового сдвига) экспериментального MnK- EXAFS спектра образца, облученного ионами.

k – волновое число, $\chi(k)$ – осциллирующая часть рентгеновского спектра поглощения, экспериментальная функция $\chi(k)w$ сравнивается с модельной для определения параметров микроструктуры.

$w=k^{-1}$ или k^{-2} – взвешивающий множитель для корректного учета затухающих при больших энергиях осцилляций.

$\mu(E)$ коэффициент поглощения в зависимости от энергии падающего рентгеновского излучения.

$|F(R)|$ – Модуль Фурье-преобразования (радиальная структурная функция без учета фазового сдвига) – характеризует вероятность рассеяния электрона, выбитого из поглощающего рентгеновский квант атома, на потенциале рассеяния. $|F(R)|$ определяется относительно поглощающего атома (в данном случае относительно Ge или Mn).

R – расстояние от поглощающего атома до атома, рассеивающего электронную волну.

Из сравнения экспериментальных спектров образца с модельными определено заметное присутствие Mn в первой сфере окружения $Ge(N(Mn)=0.3, R_{Ge-Mn}=2,22 \text{ \AA}$ (Табл.6.1.3), а также установлено, что расстояние Ge-Ge в исследуемом образце $R_{Ge-Ge}=2,45 \text{ \AA}$, что, с точностью наших измерений, неотличимо от определенного для массивного Ge- репера (Табл.6.1.3). Следует обратить внимание на то, что расстояние R_{Ge-Ge} существенно меньше для квантовых точек, выращенных при более высоких температурах, и, в общем случае, для напряженных систем GeSi. При этом расстояние Ge-Si в образце существенно меньше, чем характерное для равновесных твердых растворов. Возможно, это можно объяснить недостаточно высокими температурами, использовавшимися при синтезе ($500^{\circ}C$), и, следовательно, слабым перемешиванием на границах раздела. При этом, учитывая существенную величину координационного числа по кремнию ($N(Si) \sim 2,3$), можно предположить, что образец содержит квантовые точки очень малых размеров (с существенной долей поверхностных атомов). Таким образом, для подобных систем впервые обнаружены непосредственные контакты атомов германия с ионами марганца.

Точность определения структурных параметров для окружения Mn существенно меньше, чем при расчете окружения Ge из-за малого количества марганца в образцах. Тем не менее, следует отметить, что проведенные нами измерения, по-видимому, являются рекордными для таких малых количеств исследуемого элемента.

Впервые проведено исследование особенностей микроструктуры и элементного состава многослойных систем Ge/Si, содержащих квантовые точки, полученные методом молекулярно-лучевой эпитаксии Ge и Mn при различных условиях синтеза, с разным содержанием примеси Mn (Рис.6.1.57).

Спектры XANES и EXAFS получены во флуоресцентном режиме при комнатной температуре. Осциллирующие части спектров поглощения $\chi(k)$ в интервале $\Delta k = 3 - 13,0 \text{ \AA}^{-1}$ и модули Фурье-преобразования (радиальные структурные функции без учета фазового сдвига) экспериментальных GeK EXAFS спектров образцов 32-35 (описание образцов на Рис.6.1.57) с защитным низкотемпературным Si-покрытием (см. Рис.6.1.58, Рис.6.1.59) и образцов 44 – 48 (описание образцов на Рис.6.1.57) без такого покрытия (Рис.6.1.60, Рис.6.1.61) получены с использованием программы VIPER.

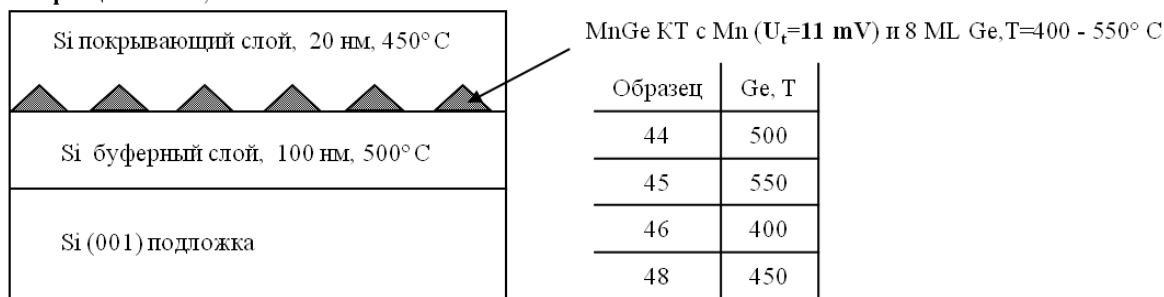
Таблица 6.1.3. Моделирование спектров Ge.

Образец	$N(\text{Si})$	$N(\text{Ge})$	$N(\text{Mn})$	$R_{\text{Ge-Si}}$; Å	$R_{\text{Ge-Ge}}$; Å	$R_{\text{Ge-Mn}}$; Å	Fit
Ge массивный (репер)		4			2,456		0,6
Образец, облученный ионами Mn^+	2,4	1,0	0,3	2,33	2,45	2,22	1,6

(Параметр (Fit) характеризует близость структурных характеристик исследуемого образца и расчетной модели).



Образцы 44 – 46, 48



Образец 47

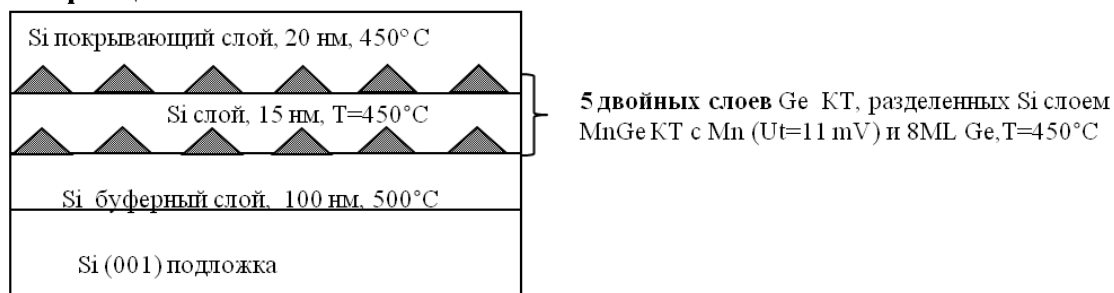


Рис.6.1.57. Схемы образцов, содержащих многослойные квантовые точки Ge/Si, полученных методом молекулярно – лучевой эпитаксии при различных условиях синтеза, с различным содержанием магнитной примеси марганца. (U_t – напряжение на испарителе марганца, от которого зависит скорость испарения Mn и его количество в образце по данным Reserford Back Scattering (RBS)); T - температура синтеза КТ; ~7.5ML, ~8ML – эффективная толщина КТ.

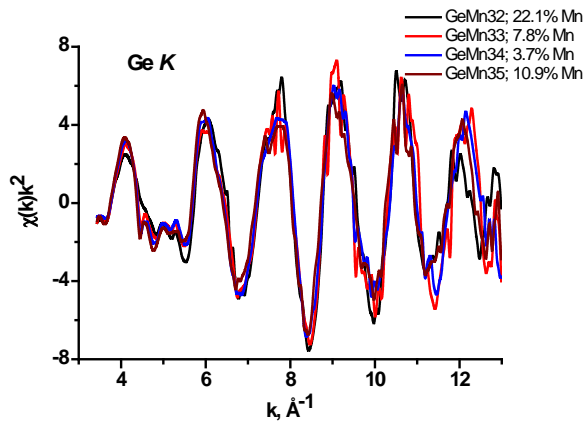


Рис.6.1.58. GeK EXAFS экспериментальные спектры образцов 32 - 35 с известным (определенным из Резерфордовского рассеяния) содержанием Mn (32 - 22.1%, 33 - 7.8%, 34 - 3.7%, 35 - 10.9%) и низкотемпературным (200° C) защитным Si слоем толщиной 2нм.

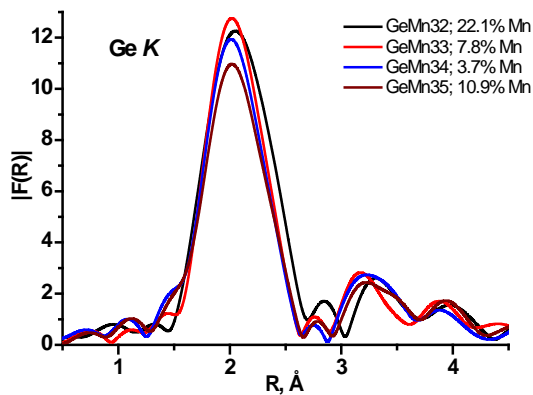


Рис.6.1.59. Модули Фурье-преобразования (радиальные структурные функции без учета фазового сдвига) экспериментальных GeK EXAFS спектров образцов 32 - 35, содержащих квантовые точки с низкотемпературным (200° C) защитным Si покрытием толщиной 2нм.

1. Моделирование проводилось в программе EXCURVE для фильтрованных в R- пространстве спектров ($\Delta R = 1.2 - 3.7 \text{ \AA}$, две сферы окружения). Перемешивание Si и Ge наблюдается в каждой сфере: Si1+Ge1 и Si2+Ge2 (Табл.6.1.4).

Необходимо отметить, что при таком (двухсферном) моделировании нам не удалось достоверно установить присутствие ионов марганца в окружении атомов Ge, что может быть обусловлено тем, что атомный вес марганца существенно меньше атомного веса германия (заметно меньший эффект рассеяния выбитых с глубокого уровня Ge электронов на атомах Mn) и его количество в образцах весьма невелико.

Как видно из Табл.6.1.4, во всех образцах обнаружено интенсивное перемешивание атомов Ge/Si, в соотношении близком к 50/50. Степень диффузии коррелирует с температурой роста точек. Во второй сфере окружения Ge по данным моделирования EXAFS спектров наблюдается, в основном, рассеяние на атомах кремния при очень незначительном присутствии германия.

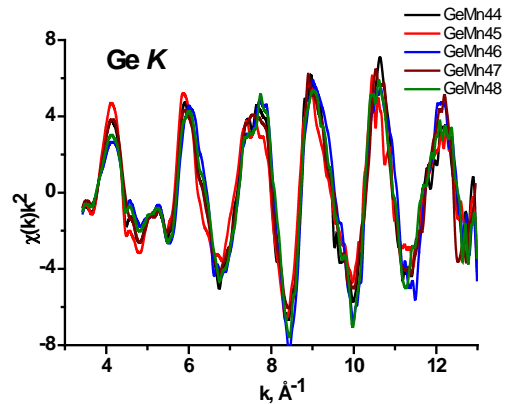


Рис.6.1.60. GeK EXAFS экспериментальные спектры образцов 44 - 48 без низко-температурного защитного покрытия кремнием, но с разной температурой роста КТ.

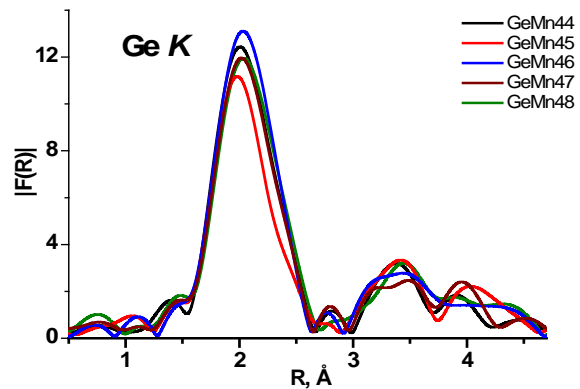


Рис.6.1.61. Модули Фурье-преобразования (радиальные структурные функции без учета фазового сдвига) экспериментальных GeK EXAFS спектров образцов 44 - 48 без низко-температурного Si защитного покрытия, с отличающимися температурами роста КТ.

Таблица 6.1.4. Двухсферное моделирование спектров Ge

Образец	$N(\text{Si}1)$	$N(\text{Si}2)$	$R_{\text{Ge-Si}1}$	$R_{\text{Ge-Si}2}$	Fit
	$N(\text{Ge}1)$	$N(\text{Ge}2)$	$R_{\text{Ge-Ge}1}$	$R_{\text{Ge-Ge}2}$	
Ge репер (17 nm) Только сферы Ge	4 Ge1	12 Ge2 12 Ge3	2.454	4.008 4.69	2.1
32	1.4	5.5	2.39	3.82	0.9
	2.6	1.9	2.43	4.03	
33	1.8	6.2	2.37	3.77	1.5
	2.2	0.5	2.42	4.16	
34	1.8	6.5	2.37	3.78	1.3
	2.2	0.5	2.42	4.14	
35	2.0	7.1	2.38	3.82	1.3
	2.0	0.3	2.43	4.13	
44	2.1	6.3	2.38	3.82	2.1
	1.9	0.3	2.43	4.14	
45	2.6	8.2	2.39	3.85	2.1
	1.4	0.4	2.43	4.20	
46	1.7	5.3	2.38	3.80	1.3
	2.3	0.4	2.43	4.26	
48	1.8	4.9	2.39	3.83	1.1
	2.2	0.3	2.43	4.25	
47	2.2	6.0	2.40	3.84	1.5
	1.8	0.3	2.43	4.28	

2. В продолжение поиска методик моделирования, которые могли бы позволить установить и количественно охарактеризовать присутствие Mn в непосредственной близости от атомов Ge, предложена более простая схема (односферная) моделирования, включающая меньшее количество определяемых структурных параметров. В рамках новой схемы моделирования были заново профильтрованы по R исходные спектры и выделена только первая сфера окружения (рассеяния) относительно атомов германия ($\Delta R = 1,4 - 2,6 \text{ \AA}$), что позволило существенно уменьшить количество варьируемых параметров. Предположено, что Mn находится в первой сфере Ge и имеет «непосредственный контакт» с Ge. На первом этапе расчета варьировались («отпускались»)

координационные числа Ge-Ge, Ge-Si и Ge-Mn, в результате которого установлено, что их сумма близка к 4. Таким образом, суммарное координационное число атомов в первой сфере было фиксировано (4) и для всех атомов (Ge, Si, Mn) был введен единый фактор Дебая-Валлера, который варьировался («отпускался») при моделировании. Стартовое расстояние Ge-Mn было определено как $2,4 \text{ \AA}$, в соответствии с установленным в работе [6] для образцов, существенно отличающихся по условиям синтеза (см. выше). Следует подчеркнуть еще раз, что методика роста наноструктур, существенно отличается от нашей (последовательное, а не одновременное нанесение Ge и Mn).

Таблица 6.1.5. Одноферное моделирование спектров Ge с учетом Mn.

Образец	Условия роста T(Ge), U _t	N(Si) N(Ge) N(Mn)	R_{Ge-Si} R_{Ge-Ge} R_{Ge-Mn}	Сдвиг края поглощения (Δ)	Fit
32	450° 12mV	0.3 2.1 1.6	2.36 2.50 2.21	1,1	0.3
33	450° 11.5mV	0.9 2.0 1.1	2.36 2.46 2.21	1,3	0.1
34	450° 11mV	1.4 2.0 0.6	2.39 2.44 2.18	0	0.7
35	550° 11.5mV	1.6 1.9 0.5	2.42 2.45 2.17	0,5	0.9
44	500° 11mV	0.8 1.7 1.5	2.36 2.48 2.22	0,9	0.3
45	550° 11mV	1.2 1.3 1.5	2.38 2.48 2.22	1,0	2.0
46	400° 11mV	0.7 2.0 1.3	2.38 2.45 2.20	1,1	0.6
48	450° 11mV	1.4 2.1 0.5	2.41 2.45 2.19	1,5	0.9
47	450° 11mV (10 слоев QD)	1.8 1.7 0.5	2.40 2.45 2.19	1,6	1.0

В результате проведенного нами моделирования, установлено, что атом марганца занимает положение на малом расстоянии (~2.2 Å) от атома Ge, причем ошибка его определения невелика. Этот результат совпадает с результатом, полученным нами для многослойных систем квантовых точек Ge/Si с Mn, с использованием облучения точек ионами Mn (см. выше и Табл.6.1.3). Полученные структурные данные подробно приведены в Табл.6.1.5. Итак, наблюдаются корреляции величин координационных чисел Si и Mn в сфере окружения Ge как с температурой, при которой были выращены квантовые точки, так и с другими условиями синтеза, в первую очередь с условиями испарения марганца и его количеством в точках.

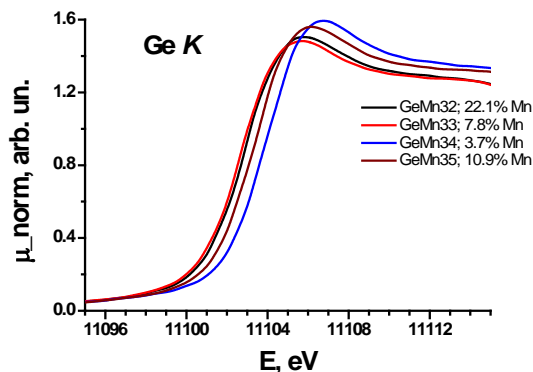


Рис.6.1.62. GeK края поглощения для образцов 32-35 с известным содержанием Mn (по данным Reserford Back Scattering (RBS)).

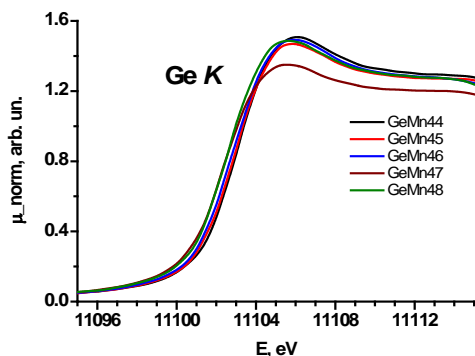


Рис.6.1.63. GeK края поглощения для образцов 44-48.

Как видно из Рис. 6.1.62, 6.1.63 и Табл.6.1.5 зарядовое состояние германия в образце весьма чувствительно к условиям синтеза. Это, в первую очередь, относится к содержанию марганца в образце (напряжение на испарителе), присутствию (образцы 32 - 35), или отсутствию (образцы 44 - 48) защитного низкотемпературным Si- покрытия, а также и к температуре синтеза квантовых точек. Следует отметить, что зарядовое состояние германия весьма чувствительно к содержанию Ge и относительно Mn, и относительно Si. Можно отметить, что нам не удалось провести контрольные измерения концентрации Ge,

Mn, Si с использованием рентгенофлуоресцентного анализа из-за высокой концентрации в образцах атомов Si, на фоне шумового сигнала от которого не удалось выделить полезный сигнал от Mn и Ge.

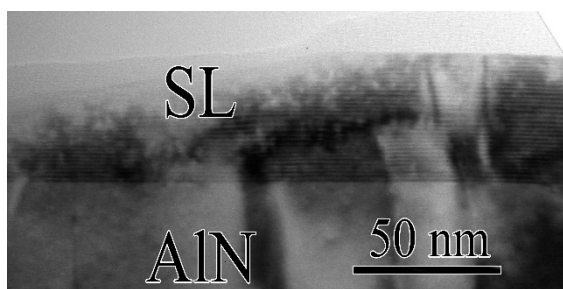
Полупроводниковые наноструктуры GaN/AlN

Гексагональные [0001]-ориентированные гетероструктуры с предельно узкими квантовыми ямами GaN в матрице AlN были синтезированы на AlN буфере толщиной 200 нм, выращенном на нитридной подложке сапфира в МЛЭ установке типа Riber CBE-32. Буферный слой AlN выращивался при достаточно высокой температуре – 920 °C в потоке аммиака 15 норм. мл/мин. Условия роста AlN и GaN различаются весьма значительно: при росте AlN необходимо низкое давление аммиака и высокая температура, а для роста высококачественного GaN необходимы примерно в 10 раз более высокое давление аммиака и умеренные температуры. При росте AlN/GaN квантовых ям (КЯ) для фиолетовых светодиодов и лазеров выбираются условия, близкие к наилучшим для роста слоев GaN, поскольку эти слои определяют их потребительские (люминесцентные) свойства. В случае AlN/GaN гетероструктур с двумерным электронным газом для транзисторов более важным является получить высококачественный AlN барьер, то есть повысить температуру и понизить давление аммиака. При этом необходимо получить атомно-резкую гетерограницу, чтобы уменьшить рассеяние электронов на шероховатостях гетерограницы, являющееся существенным механизмом рассеяния в AlN/GaN гетероструктурах. Очевидно, что эти требования противоречивы, поэтому требуется поиск оптимальных условий роста AlN/GaN гетерограницы и AlN барьера.

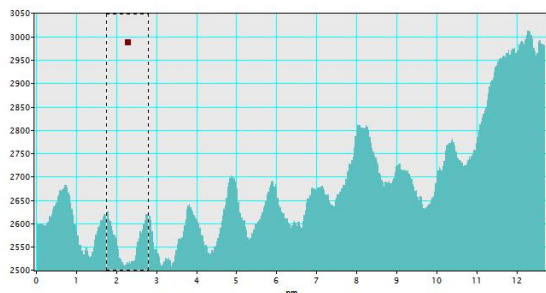
При росте исследуемых КЯ структур поток аммиака был постоянным (200 норм. мл/мин), а температура подложки варьировалась (795, 845 и 895 °C). Толщина GaN КЯ и AlN барьеров равнялась ~1 нм, число периодов - 30. В эти же условиях был выращен слой GaN толщиной 17,5 нм, который был использован в качестве репера. Выбранные условия роста были использованы для получения AlN/GaN гетероструктур с двумерным электронным газом для нормально-закрытых транзисторов. В выращенных гетероструктурах оценивалась толщина слоев AlN и GaN (d_{AlN} , d_{GaN}), которая в дальнейшем использовалась при определении координационных чисел атомов галлия, расположенных на гетерогранице, то есть степени размытия гетерограниц. Толщина оценивалась по данным просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), рентгеновской дифракции (РД), комбинационного рассеяния света (КРС) и фотолюминесценции (ФЛ). Данные ПЭМ показывают хорошее совпадение заданной и выращенных толщины КЯ (~1 нм для слоев GaN и AlN) и высокое совершенство гетерограниц (Рис.6.1.64.).

Значения периода КЯ, оцененное методом КРС и РД хорошо согласуется с данными ПЭМ. Для оценки

толщины КЯ из спектров гелиевой ФЛ были рассчитаны энергии оптических переходов в КЯ с использованием приближения огибающих функций как функций толщины КЯ и напряженности встроенного электрического поля. Напряженность встроенного электрического поля была равной 6 МВ/см. В соответствии с расчетами основной пик ФЛ соответствует переходам между уровнями размерного квантования в КЯ толщиной 3 монослоя (МС), то есть 0,78 нм, наблюдается также менее интенсивный пик ФЛ в КЯ толщиной 4 МС (1,04 нм).



(а)



(б)

Рис.6.1.64. (а) ПЭМ изображение GaN/AlN сверхрешетки с AlN буфером, выращенными на подложке сапфира; (б) профиль интенсивности поперек ПЭМ изображения.

Влияние температуры роста на степень перемешивания гетерограниц GaN/AlN было изучено методом EXAFS-спектроскопии (Рис.6.1.65 и 6.1.66). Моделирование локального окружения атома Ga проводилось с помощью программы EXCURVE 98 для

Фурье фильтрованных данных ($\Delta R = 0.8-3.3 \text{ \AA}$) с k^2 взвешиванием в диапазоне волновых векторов от 3.5 до 13 \AA^{-1} .

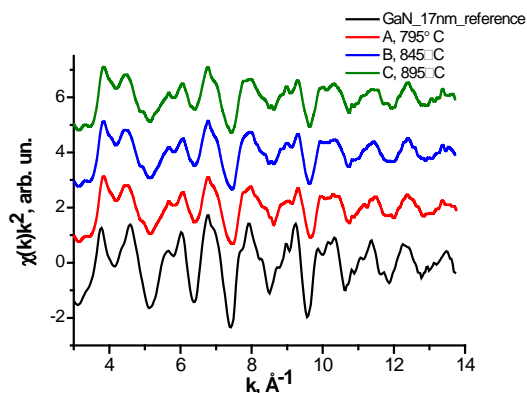


Рис.6.1.65. Нормализованные осциллирующие части GaK EXAFS спектров поглощения $k^2\chi(k)$ исследуемых образцов.

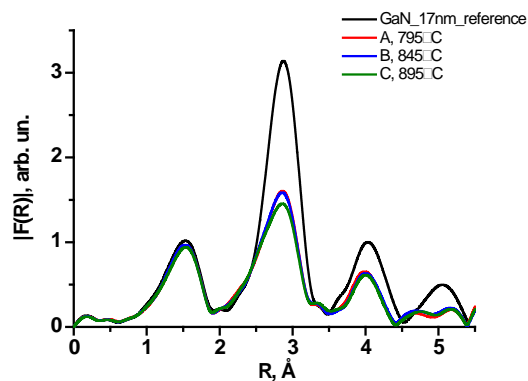


Рис.6.1.66. Модули Фурье-преобразования $|F(R)|$ функции $k^2\chi(k)$ GaK EXAFS без учета фазового сдвига.

Результаты моделирования («подгонки») спектров, синтезированных при температурах 795° C, 845° C и 895° C, а также до и после отжига при температуре 1000° C, приведены в Табл.6.1.6 и 6.1.7.

Таблица 6.1.6. Моделирование спектров Ge для образцов со сверхрешетками, выращенными при разных температурах (до отжига). Жирным шрифтом обозначены фиксированные параметры. (Измерения выполнены в ИЯФ СО РАН.)

Образец	$T^\circ\text{C}$	N_{Ga}	N_{Al}	$R(\text{Ga-Ga}), \text{ \AA}$	$R(\text{Ga-Al}), \text{ \AA}$	<i>Fit</i>
Ge репер (17 nm) Только сферы Ge		12		3.17		1.8
A	795	8.9	3.1	3.15	3.16	1.8
B	845	8.6	3.4	3.15	3.16	1.7
C	895	8.0	4.0	3.14	3.13	1.6

Таблица 6.1.7. Моделирование спектров Ge для образцов со сверхрешетками, выращенными при разных температурах (после отжига при $T=1000^\circ\text{C}$). Жирным шрифтом обозначены фиксированные параметры.

Образец	$T^\circ\text{C}$	N_{Ga}	N_{Al}	$R(\text{Ga-Ga}),$ Å	$R(\text{Ga-Al}),$ Å	<i>Fit</i>
Ge репер (17 nm) Только сферы Ge		12		3.171		0.9
A	795	8.3	3.7	3.146	3.162	1.3
B	845	8.1	3.9	3.149	3.157	1.4
C	895	7.7	4.3	3.148	3.156	1.5

Из полученных данных следует, что диффузия растет с увеличением температуры: уменьшаются координационные числа по Ga и увеличиваются по Al. Причем для всех образцов обнаружено влияние и температуры синтеза, и температуры отжига на суммарную диффузию. После отжига при 1000°C координационные числа по Ga меньше для образцов, синтезированных при более высокой температуре. Расстояния Ga-Ga и Ga-Al близки к характерным для твердых растворов. Для идеальной сверхрешетки с числом слоев $\text{GaN}=3$ координационное число по Ga = 10.0. Для такой сверхрешетки, по нашим оценкам (при учете диффузии только в граничном слое GaN), перемешивание Ga-Al составляет порядка 30; 35; 40% для образцов 901; 902; 903, соответственно, а после отжига перемешивание заметно увеличивается (до 35; 40; 45%).

AlGa _x N:Si	~ 1200 nm
AlN	~ 350 nm
Al ₂ O ₃	430 мкм

Рис. 6.1.67. Структура образцов $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$:

1055 - $x \sim 0,74$

1062 - $x \sim 0,65$

1054 - $x \sim 0,54$

1056 - $x \sim 0,42$

1065 - $x \sim 0,29$

1063 – GaN; $x=0$

Для изучения атомной структуры и выяснения причин возникновения остаточных упругих напряжений в слоях AlGa_xN были выращены методом аммиачной МЛЭ слои $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ с $0 \leq x_{\text{Al}} \leq 1$, нелегированные и легированные кремнием (Рис. 6.1.67). Слои AlGa_xN толщиной 1,2 мкм выращивались на подложках сапфира с буферным

слоем AlN толщиной 320 нм. Содержание алюминия в слоях задавалось соотношением потоков Al/Ga в процессе роста и затем контролировалось с помощью вторичной ионной масс-спектропии (ВИМС), ИК Фурье-спектропии и спектроскопии оптического пропускания (Рис.6.1.68). Легирование осуществлялось газовым источником силана, разбавленным в азоте, поток силана варьировался от 0 до 6,0 норм. мл/мин. Структурное совершенство слоев исследовалось методами атомно-силовой, сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской дифракцией.

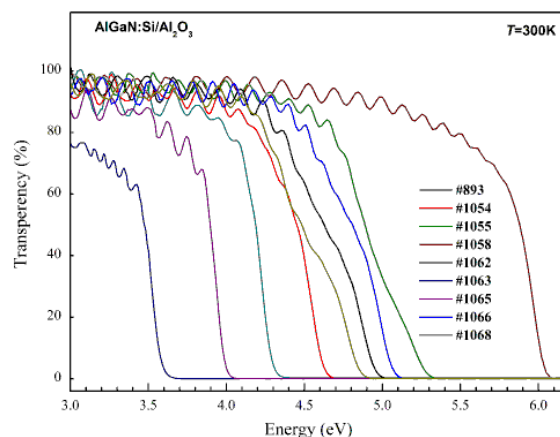
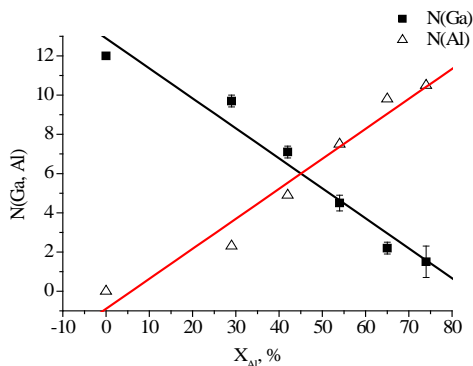


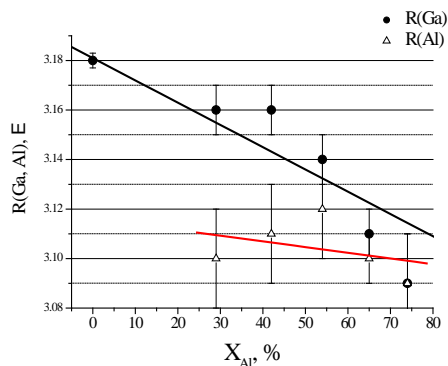
Рис.6.1.68. Оптическое пропускание слоев AlGa_xN, легированных кремнием с содержанием алюминия в диапазоне $0 \leq x_{\text{Al}} \leq 1$.

Концентрация атомов кремния, а также фоновых примесей (углерода и кислорода) в слоях измерялась методом ВИМС с использованием первичных ионов Cs⁺ при нейтрализации зарядки образцов их облучением пучком электронов. Концентрации атомов кремния и кислорода лежали в диапазоне $(1-2) \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ и $(2-5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, соответственно, концентрация атомов углерода нарастала с ростом x_{Al} от $1 \cdot 10^{17}$ до $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Локальное атомное строение, информация о координационных числах и длине межатомных связях получена из измерений и анализа

тонкой структуры рентгеновских спектров поглощения атомов галлия (EXAFS). Данные EXAFS-спектроскопии показывают, что координационные числа в парах Ga–Ga и Ga–Al во второй координационной сфере линейно изменяются с содержанием алюминия в слоях AlGaN (Рис.6.1.69 а), что свидетельствует о случайном расположении атомов Al в катионной подрешетке и отсутствии упорядочения и кластерообразования. Длины связей между атомами галлия и азота ($R_{\text{Ga-N}}$) в первой координационной сфере, между атомами Ga и атомами второй координационной сферы $R_{\text{Ga-Ga}}$ и $R_{\text{Ga-Al}}$ также изменяются монотонно с составом (Рис.6.1.69 б). Величина $R_{\text{Ga-Ga}}$ изменяется сильнее, чем величина $R_{\text{Ga-Al}}$. Сильное легирование не влияет на структурные характеристики слоев.



(а)



(б)

Рис.6.1.69. (а) Координационные числа Ga–Ga и Ga–Al во второй координационной сфере слоев AlGaN в зависимости от содержания алюминия; (б) зависимость длины Ga–Ga и Ga–Al связей от содержания алюминия в слоях AlGaN.

Структурные свойства слоев оценивались с помощью атомно-силовой микроскопии и дифракции рентгеновских лучей методами двух и трех-кристальной рентгеновской дифрактометрии (РД). Остаточные напряжения в слоях (σ_a) рассчитывались из измерений радиуса кривизны образцов. Плотности вертикальных винтовых и краевых дислокаций

оценивались в рамках модели хаотически расположенных дислокаций. Данные РД показывают, что постоянные кристаллической решетки (a и c) и плотность дислокаций монотонно зависят от состава AlGaN и эти зависимости могут быть аппроксимированы линейными функциями. В то же время, и величина, и знак упругих напряжений достаточно резко меняются при $x_{\text{Al}} > 0,4$ (Рис.6.1.70).

Анализ методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) показал, что при $x_{\text{Al}} > 0,5$ изменяется морфология слоев, гексагональные блоки сливаются в сплошную пленку. В процессе охлаждения выращенных слоев, происходит существенное изменение геометрических параметров каждого из блоков, что влечет за собой генерацию высокого уровня внутренних напряжений. Вероятно, именно с этим, а не с изменением локального атомного строения AlGaN, связано измерение деформации в слоях.

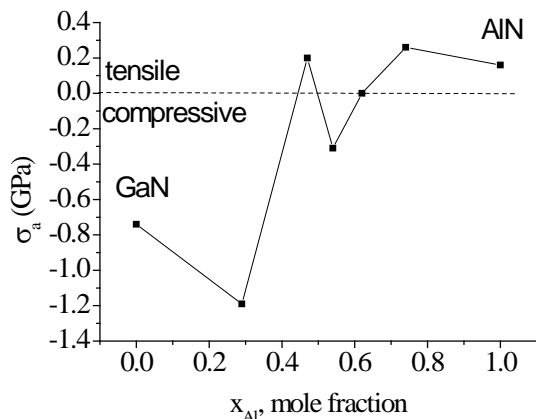


Рис.6.1.70. Зависимость деформации слоев AlGaN от содержания алюминия в слоях.

Продолжены исследования корреляций параметров микроструктуры GaN/AlN сверхрешеток, с их с морфологией, оптическими свойствами с использованием метода EXAFS- спектроскопии, электронной микроскопии высокого разрешения, малоуглового рассеяния.

Спектры люминесценции образцов GaN/AlN возбуждались излучением лазера с $E_l = 4.66$ эВ ($E_{\text{GaN}} = 3.5$ эВ $< E_l < 6.2$ эВ = E_{AlN} , где E_{GaN} и E_{AlN} – ширины запрещенных зон GaN и AlN соответственно). Из анализа особенностей спектров люминесценции для ряда образцов с квантовыми ямами следует, что более интенсивные максимумы люминесценции, сдвинутые в коротковолновую сторону, характерны для образцов с более заметным перемешиванием на границах раздела, которое зависит от температуры и других условий на этапах синтеза. Таким образом, существует однозначная корреляция между микроструктурными и оптическими параметрами для таких образцов.

Как можно заключить из анализа картины рентгеновской дифракции на сверхрешетках GaN/AlN для ряда образцов не обнаружено ожидаемого точного соответствия положений максимумов и целочисленных значений (n) порядков отражения в соответствии с формулой Вульфа-Брэгга ($n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$, d – период решетки). Один из вариантов объяснения такого несоответствия – присутствие в образце двух или нескольких близких по параметрам сверхрешеток. Если оценить период сверхрешетки (d) в области малых углов (до 9°), то, например, для одного из образцов $d_1 = 0,154/[2\sin(1,51^\circ/2)] \approx 5,8$ nm. При больших углах проявляется еще и дополнительная периодическая структура, отличающаяся от основной на $\sim 1,51^\circ/15^\circ = \sim 0,1$ (~10%), т.е. в образце, по-видимому, присутствует еще решетка с $d_2 = \sim 5,8/1,1 = \sim 5,3$ nm. Полученные из анализа электронных микрофотографий для этого образца значения толщин

GaN и AlN слоев составляют 8 и 3 постоянных решетки (8с и 3с, с = 0,51 nm для GaN и с = 0,49 nm для AlN), соответственно, т.е. $\approx 4,1$ nm и $\approx 1,5$ nm, а период решетки $d \approx 5,6$ nm. Эти значения весьма близки к значениям, определенным из малоугловой дифракции (5,8 nm и 5,3 nm).

Полупроводниковые наноструктуры InGaN/AlN

Слои InGaN выращивались на буферном слое AlN при различных температурах подложки. Поскольку In является легко летучим элементом, а сильно повысить поток, чтобы скомпенсировать его испарение с поверхности растущего слоя в методе МЛЭ сложно, то для повышения содержания In в слое InGaN температура подложки понижалась от 740 до 550° С. С другой стороны, при понижении температуры уменьшается вероятность диссоциации аммиака и эффективность встраиваемости атомов азота. Поэтому важным является определить условия роста слоев InGaN с совершенной атомной структурой.

Выращенные слои InGaN исследовались методом ФЛ (рис.6.1.71), полученные спектры сравнивались со спектрами, приведенными в литературе. Из зависимости положения полосы краевой ФЛ от содержания индия определялся состав исследованных образцов. По данным ФЛ при температуре подложки 550° С слой содержит примерно 5% In. Большая ширина полосы краевой ФЛ (2,9 – 3,4 эВ) свидетельствует о неравномерном распределении содержания индия по объёму слоя, (содержание меняется от 0 до 20 %).

Локальное окружение атомов Ga в слоях InGaN исследовалось с помощью EXAFS-спектроскопии и сравнивалось с таковым в слоях GaN. EXAFS InK спектры удалось измерить только для образцов, выращенных при низкой температуре подложки (550 С), в которых слой InGaN содержит примерно 5% In. Для этих образцов определено, что ближайшая сфера окружения атома индия состоит из атомов Ga ($N(\text{In-Ga}) = 12$), а межатомное расстояние

$R(\text{In-Ga}) = 3,21 \text{ \AA}$. Для образцов, выращенных при более высоких температурах (и более низкой концентрации In) не удалось получить достоверные EXAFS InK спектры.

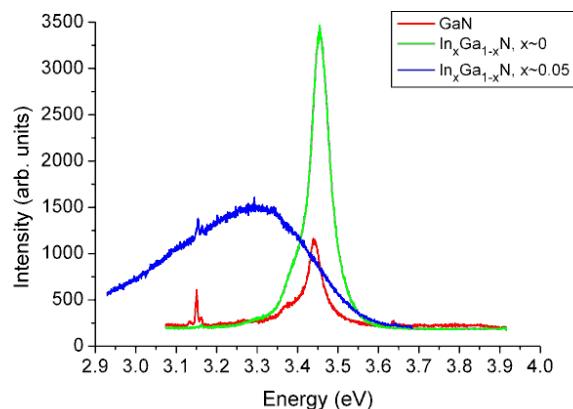


Рис.6.1.71. Спектры ФЛ слоя GaN и слоев InGaN, полученных методом аммиачной МЛЭ при постоянном потоке In, но различных температурах подложки (зеленая кривая получена при $T = 740^\circ \text{ C}$, синяя - при $T = 550^\circ \text{ C}$).

6.1.8. Станция «Рентгеновской микроскопии и томографии», ВЭПП-4М.

Купер К.Э., ИЯФ СО РАН

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

Участвующие организации:

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

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск;

Институт гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск;

Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск.

Исследование сцинтилляционных экранов CsI(Tl) для применений в рентгеновской микроскопии.

Купер К.Э., ИЯФ СО РАН

Сцинтилляционные экраны на основе CsI(Tl) имеют широкое распространение в экспериментах, требующих получения высокоразрешающих рентгеновских изображений. Это первую очередь обусловлено тем, что CsI(Tl) обладает одним из самых высоких световых выходов среди известных сцинтилляторов.

Сцинтилляционные экраны размером 25x25 мм² изготавливались путем вакуумного осаждения CsI(Tl) на стеклянные подложки толщиной 150 мкм. Для получения гомогенного покрытия скорость осаждения

не превышала ($17 \pm 2 \text{ \AA/s}$). Концентрация Тl в сцинтиляторе была на уровне 0.08 моль/кг. Для исследования пространственного разрешения и контрастности сцинтиляционных экранов, было изготовлена серия образцов с разной толщиной покрытия от 2 до 14 мкм. Морфология полученных сцинтиляционных пленок представляла собой зернистую структуру (рис. 6.1.72) с типичным размером кристаллитов на уровне 2-3 мкм.

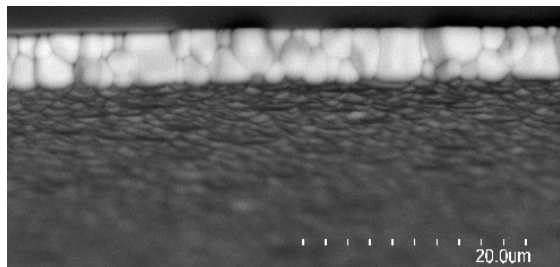


Рис.6.1.72. Изображение поперечного сечения сцинтиляционного экрана толщиной 14 мкм полученного методом сканирующей электронной микроскопии.

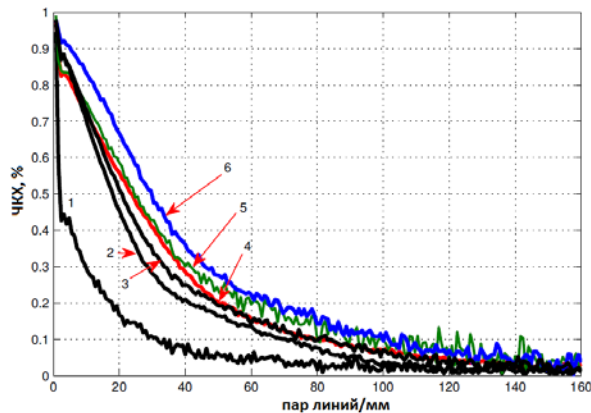


Рис.6.1.73. Частотноконтрастная характеристика сцинтиляционных экранов с различной толщиной. 1,2,3 – 14 мкм, 4 – 8 мкм, 5 – 4 мкм, 6 -2 мкм.

Характеристики тонкопленочных сцинтиляционных экранов измерялись на канале вывода СИ «Микроскопия и томография» (ВЭПП-3, ИЯФ СО РАН). В работе использовалось монохроматическое рентгеновское излучение ($\Delta E/E=10^{-3}$) в диапазоне энергий фотонов от 7 до 35 кэВ.

На рис.6.1.73 приведена частотноконтрастная характеристика (ЧКХ) сцинтиляционных экранов с различной толщиной покрытия. Хорошо видно, что с увеличением толщины сцинтиляционного покрытия происходит уменьшение пространственного разрешения.

Этот факт объясняется поперечным распространением света в теле сцинтилятора, которое в основном обусловлено перерассеиванием света на границе поверхности экрана. Нанесение

поглощающего свет углеродного покрытия на одну из поверхностей экрана приводит к значительному улучшению пространственного разрешения. Так на рис.6.1.73 ЧКХ под номером 1 соответствует экрану с толщиной сцинтилятора 14 мкм без углеродного покрытия, а ЧКХ с номерами 2 и 3 сцинтиляционным экранам с той же толщиной но с нанесенным углеродным слоем 70 и 140 нм соответственно. Так же было показано, что пространственное разрешение сцинтиляционных экранов практически не зависит от энергии регистрируемых рентгеновских фотонов (рис. 6.1.74). Это результат объясняет то, что пространственное разрешение экранов в основном определяется перерассеиванием света, а не пробегом вторичных электронов в теле сцинтилятора.

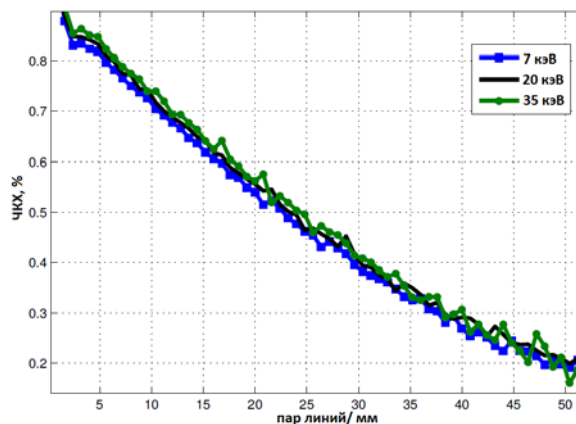


Рис.6.1.74. Частотноконтрастная характеристика сцинтиляционного экрана толщиной 8 мкм полученная при использовании монохроматического излучения с энергией фотонов 7,20,35 кэВ.

6.1.9. Модернизация станции СИ «Рентгеновская микроскопия и томография» на накопителе ВЭПП-3.

Купер К.Э., ИЯФ СО РАН

В 2017 году была проведена модернизация томографической установки с целью улучшения пространственного разрешения до 1 мкм и расширение возможностей метода рентгеновской микроскопии за счет использования полихроматического излучения. Основным проблемой существующей установки было отсутствие возможности томографической съемки в полихроматическом излучении с пространственным разрешением на уровне 1 мкм. Использование полихроматического излучения позволяет повысить поток рентгеновского излучения на 4 порядка и тем самым увеличить скорость съемки и качество получаемых трехмерных изображений. Использование полихроматического излучения, также устраняет ограничение, связанное с маленьким потоком рентгеновских фотонов в коротковолновой области спектра.

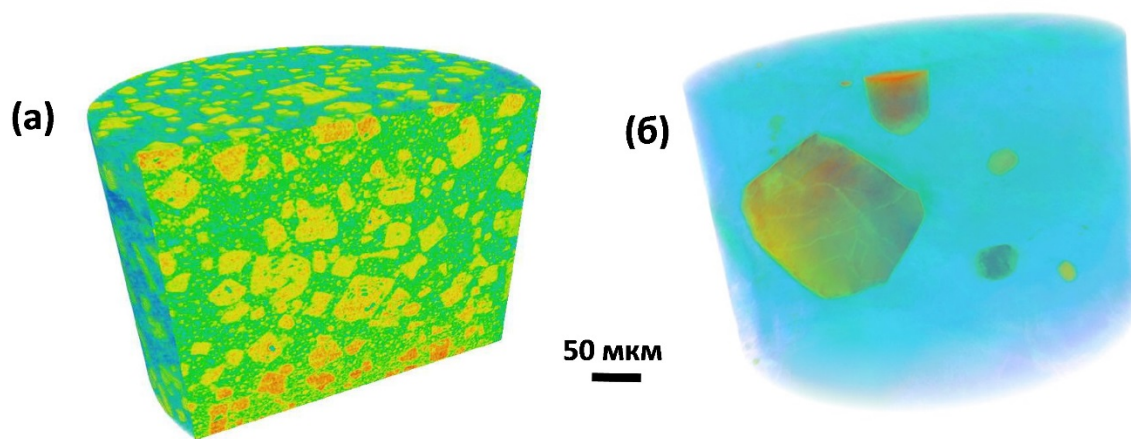


Рис.6.1.75 (а) – Композитный материал, использующийся аэрокосмической промышленности, (б) - Распределение граната в ксенолите из алмазоносной трубки «Удачная».

Поток монохроматического излучения, использующегося на станции, был ограничен возможностями монохроматора и источника в диапазоне энергий рентгеновских фотонов от 6 до 30 кэВ. Использование полихроматического излучения позволило использовать высокоэнергетическую часть спектра, что обеспечило возможность исследования структуры сильно поглощающих объектов с микронным пространственным разрешением.

Модернизация заключалась в создании детектирующей системы с пространственным разрешением на уровне 1 мкм и усовершенствовании юстированных механизмов держателя образца. На Рис.6.1.75 приведены трехмерные изображения образцов полученных с высоким пространственным разрешением, исследования которых проводились после модернизации станции «Рентгеновской микроскопии и томографии» в 2017 году.

Разработка методов разностной радиографии для медицины и материаловедения.

Купер К.Э., ИЯФ СО РАН

В 2017 году проводились работы по развитию метода разностной радиографии, позволяющей получать картину распределения определенных элементов в исследуемых образцах. Суть метода заключается в получении двух изображений в монохроматическом излучении с энергиями рентгеновских фотонов лежащих, до и после резонансного края поглощения исследуемого элемента. Разница таких изображений подчеркивает объекты, содержащие элемент, испытывающий резкий скачок в поглощении при изменении энергии рентгеновских фотонов всего на 100 эВ.

С помощью метода разностной радиографии были проведены исследования, позволяющие получать картину распределения висмут трикалия дицитрата (ВТД) в подопытных животных. ВТД является основным компонентом лекарственного препарата, использующегося для терапии язвенных заболеваний

желудочного кишечного тракта. В нашем случае интересующий нас элемент висмут имеет К-край поглощения на энергии 90.5 кэВ. Монохроматическое излучение с энергией рентгеновских фотонов вблизи 90.5 кэВ слабо поглощается биологическими тканями, что позволяет получать изображение распределения висмута с малыми концентрациями.

Для регистрации рентгеновских изображений использовалась многоканальная ионизационная камера. Пространственное разрешение этого детектора находится на уровне 200 мкм, что определяется его дискретизацией и диффузией электронов в процессе их дрейфа к сигнальному электроду. Камера детектора была заполнена криптоном с давлением в 2 МПа, что обеспечивало его высокую чувствительность к рентгеновскому диапазону 70-100 кэВ на уровне 60-70%. Динамический диапазон регистрации детектора составлял значение порядка 10^3 , что позволяло регистрировать слабоконтрастные объекты с предельным пространственным разрешением.

Для определения чувствительности метода и выявления минимального порога обнаружения висмута в исследуемых объектах был приготовлен набор растворов ВТД с различной концентрацией (рис.6.1.76).

Полученные с помощью разностной радиографии изображения растворов ВТД приведены на рис.6.1.77. Видно, что минимальный порог обнаружения ВТД в исследуемых объектах составляет 0,003 моль/л. Однако, в настоящее время разрабатывается система регистрации на основе кремниевого детектора с динамическим диапазоном регистрации и чувствительностью на порядок превышающие параметры используемой многоканальной ионизационной камеры. Это дает основание полагать, что минимальный порог обнаружения ВТД будет понижен еще в несколько раз.

Для исследования распределения ВТД в живом организме подопытной мыши был перорально введен

препарат с концентрацией 0,16 моль/л. Спустя 1 час после приема препарата мышь была наркотизирована и получена ее разностная радиография (рис.6.1.78). Видно, что определяемый разностной радиографией висмут локализован в желудке мыши. Концентрация ВДТ в желудке варьируется от 0,005 до 0,04 моль/л.

определять распределение и концентрацию висмут содержащих веществ организме подопытных животных.

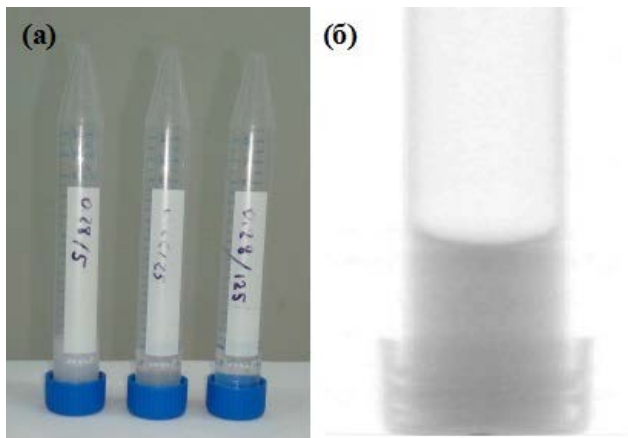


Рис.6.1.76. Набор растворов ВДТ с различной концентрацией (а) и рентгеновское изображение одного из образцов (б).

В дальнейшем планируется проведение томографических съемок, что позволит более точно

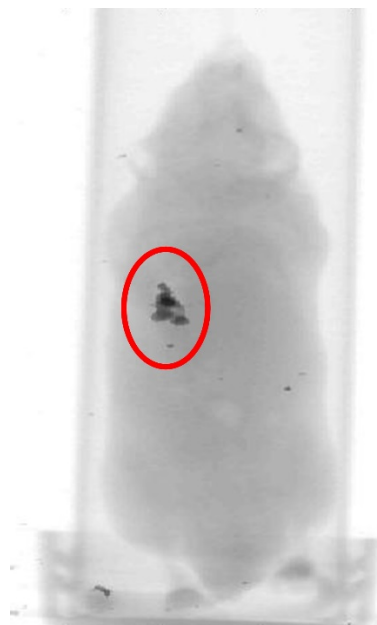


Рис.6.1.78. Разностная радиография мыши с введенным перорально препаратом содержащим ВДТ.

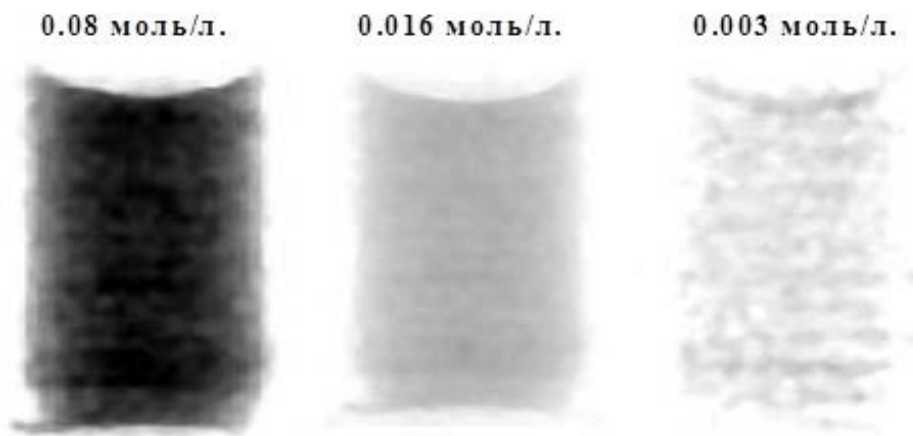


Рис.6.1.77. Разностная радиография растворов ВДТ с концентрацией 0.08 моль/л., 0.016 моль/л. и 0.003 моль/л.

6.2. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕНТГЕНОВСКОГО СИ

Важнейшим направлением работ по развитию методов изучения быстропротекающих процессов с использованием СИ является усовершенствование используемых для этих целей быстродействующих многоканальных координатных детекторов.

Координатные детекторы этого типа DIMEX, разработанные в ИЯФ, уже около 15 лет успешно используются на станции «Экстремальные состояния вещества» на накопителе ВЭПП-3, а последние два года и на станции «Детонация-2» на канале СИ №8 на ВЭПП-4М. Регистрирующим элементом в этих детекторах является газовая камера с анодом, выполненным в виде микрополосковой структуры с шагом 100 микрон.

В настоящее время ведутся работы по созданию более совершенного детектора на основе твердотельного (кремниевое) координатного сенсора с шагом 50 мкм.

Основные характеристики детекторов – координатное разрешение и динамический диапазон регистрируемых сигналов в значительной мере определяются параметрами электроники базирующейся на серийных СБИС и, что особенно важно, на специализированных микросхемах (ASIC) с плотностью регистрирующих каналов, соответствующей шагу координатной структуры (~100 мкм на канал). В С.3-12 были предприняты значительные усилия по освоению проектирования таких микросхем.

6.2.1. Микросхема DMXG64 для модернизации газовых детекторов DIMEX.

Основной целью модернизации газовых детекторов является увеличение их быстродействия до 8 миллионов кадров в секунду. Для достижения этого потребовалось разработать новую специализированную микросхему DMXG64.

Новая микросхема содержит в себе 64 идентичных канала, каждый из которых состоит из интегратора с изменяемой емкостью и подключаемым резистором в цепи обратной связи и аналоговой памяти на 100 ячеек. Быстродействие микросхемы позволяет проводить операции записи и чтения с частотой до 10МГц. Чипы были изготовлены осенью 2015 г. и к концу года были измерены их основные характеристики.

В течение 2016 года на базе этих микросхем был изготовлен модернизированный детектор DIMEX, с которым в 2017 году была проведена серия экспериментов на станции «Экстремальные состояния вещества» на накопителе ВЭПП-3. Детектор

использовался в режиме с длительностью кадров 125нс.

При проведении экспериментов с новым детектором на пучке СИ была обнаружена проблема, возникающая при инъекции большого заряда на входы чипа и состоящая в том, что в этой ситуации возникает заметный сигнал даже в тех каналах, которые были вне зоны облучения. После детального исследования был разработан математический алгоритм коррекции этого эффекта, что позволило существенно улучшить качество получаемых данных.

Кроме того, была проведена существенная коррекция схемы чипа и изготовлены его новые образцы. В конце 2017 года начата сборка детектора с использованием этих микросхем. Начало экспериментов с новым детектором планируется на весну 2018 года.

6.2.2. Микросхема DMXS6A для прототипа кремниевого детектора.

Основной задачей разработки детектора на основе кремниевого координатного сенсора является увеличение точности измерения плотности образцов при импульсных нагрузках и сокращение длительности кадров до 20 нс.

Для реализации потенциальных возможностей, которые открывает использование таких сенсоров, необходима соответствующая электроника. К настоящему времени разработана микросхема 6-канального прототипа этой электроники DMXS6 и на её основе ведётся сборка соответственно прототипа кремниевого детектора.

Структура канала регистрирующей электроники приведена на Рис.6.2.1. Структура канала:

- входной преобразователь напряжения → ток
- интегратор тока со сбросом (4 штуки)
- коммутатор между входным преобразователем и интеграторами
- длительность кадра минимальная, нс 22.

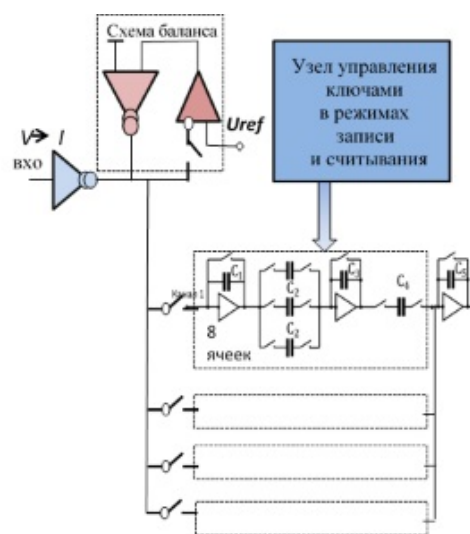


Рис.6.2.1. Схема одного канала чипа DMXS6A.

На Рис.6.2.2 и Рис.6.2.3 показаны соответственно фотографии платы регистрации с установленными чипами DMXS6A (указаны стрелкой) и платы управления прототипа кремниевого детектора.

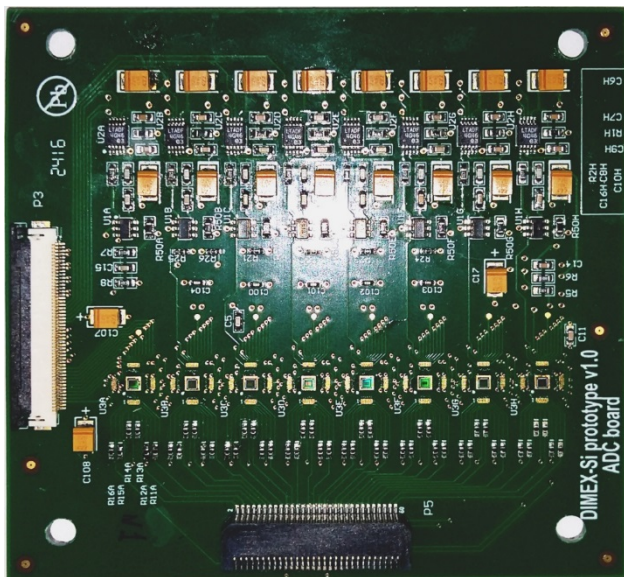


Рис.6.2.2. Плата регистрации прототипа кремниевого детектора.

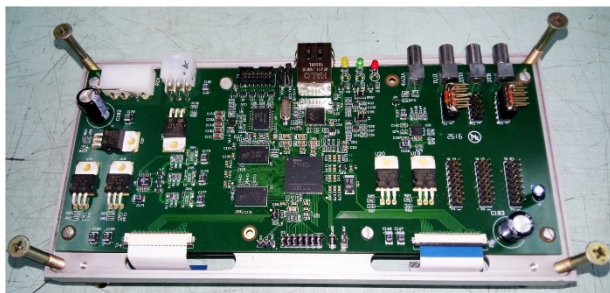


Рис.6.2.3. Плата управления прототипа кремниевого детектора.

6.2.3. Модернизация электроники детектора СНД.

В 2017 году продолжилась модернизация электроники детектора СНД. Ключевыми элементами вновь разрабатываемых блоков являются современные АЦП для непрерывной оцифровки сигналов и Системы на кристалле для считывания данных с АЦП и интерфейса с Системой сбора данных (ССД) детектора СНД. Восстановление амплитуды и времени возникновения сигналов регистрационных каналов выполняется цифровым способом. Такая обработка может быть выполнена в логической или в процессорной части Системы на кристалле или в вычислительной ферме ССД.

Так 2017 году было изготовлено 175 модулей формирователей Ф12М и 90 24-канальных модулей Z24 (Рис.6.2.4.) для калориметра СНД. Это

оборудование было установлено на детектор и находится в эксплуатации.

В 2017 году также изготовлен прототип 6-канального модуля Z200 на базе АЦП с тактовой частотой 200 МГц для обслуживания быстрых каналов наружной системы детектора СНД. В 2018 году предполагается их массовое производство.

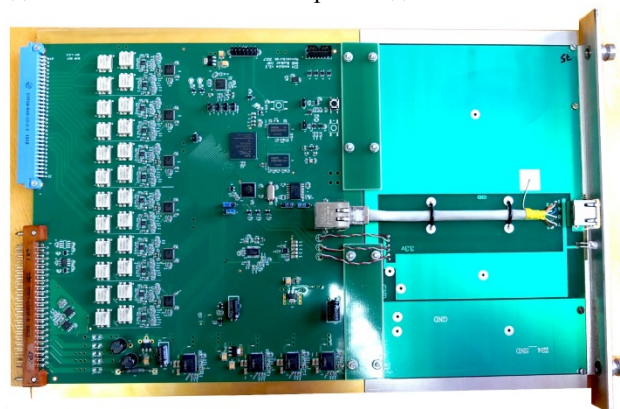


Рис.6.2.4. 24-канальная плата АЦП Z24.

6.2.4. Стенд для изучения сцинтилляционных кристаллов.

В рамках обязательств по репутационному гранту РНФ разрабатывается тестовая установка (стенд) для исследования качества сцинтилляционных кристаллов, включающая дистанционно управляемые источники высокого напряжения и плату SCZ-4 (Рис.5) с переключаемыми усилителями-формирователями и АЦП. Плата SCZ-4 собрана, производится ее настройка. В 2017 году так же был изготовлен первый экземпляр источника высокого напряжения на +1 кВ (Рис.6), который сейчас находится в пробной эксплуатации.

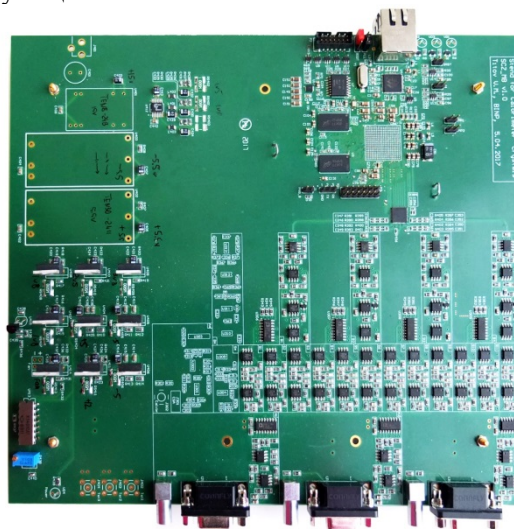


Рис.6.2.5. Плата SCZ-4 стенда проверки сцинтилляционных кристаллов.



Рис.6.2.6. Источник высокого напряжения стенда проверки сцинтилляционных кристаллов.

6.2.5. Участие в международных проектах.

Сотрудники Сектора 3-12 принимают активное участие в международных экспериментах Belle-II и Atlas.

В течение 2017 года была произведена сборка электроники торцевых частей электромагнитного калориметра (барельная часть была собрана ранее). После наладки все каналы калориметра являются рабочими. Система сбора данных калориметра, которая также является зоной ответственности сотрудников сектора, стабильно работает на проектной частоте триггера. Таким образом, электроника калориметра готова к началу экспериментальных заходов эксперимента BelleII.

Сотрудники сектора участвуют в разработке дизайна ПЛИС модуля LATOME, который будет использоваться в Триггерной системе жидко-аргонового калориметра детектора Atlas. Текущее состояние модуля таково, что в марте 2018 предполагается проведение экспертизы, по результатам которой будет выработано решение о соответствии модуля требованиям и старте массового производства.

6.3. ДЕТЕКТОРЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

6.3.1. В рамках работ по созданию детектора рентгеновского излучения, реализующего метод прямого счета квантов на основе сборок сцинтилляторов – микропиксельный фотодиод, была разработана электроника детектора для рентгеновской денситометрии с двумя независимыми порогами регистрации. Проведены измерения характеристик сборки сцинтилляторов – микропиксельный лавинный фотодиод с разными сцинтилляторами и, в частности, максимально достижимого энергетического разрешения (~22% для энергии квантов 59,5 кэВ).

На рентгенографической установке МЦРУ в ИЯФ произведена замена детектора на 1024 канала с разрешением 0,4 мм на детектор аналогичного действия на 1536 каналов с разрешением 0,25 мм.

6.3.2. В 2017 году производилась доводка конструкции установки СПК и измерение характеристик с детектором на базе ионизационной камеры. Разработана конструкторская документация на детектор прямого счета квантов. Был детально разработан метод радикального снижения доз облучения на рентгеновских установках сканирующего типа с применением детектора прямого счета квантов, оформлена и подана соответствующая патентная заявка, которая была принята с приоритетом от 02.06.2017 году.

6.4. РАБОТА С ПУЧКАМИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

6.4.1. Изучение механизмов потерь электронов в ускорителе-рекуператоре. Измерение плотности потока нейтронов.

Современные ускорительные установки интенсивно используются для различных научных и технологических исследований. Поэтому требования, предъявляемые к их параметрам, постоянно растут. Это, в частности, относится и к уникальной научной установке «Новосибирский лазер на свободных электронах». В отчете представлены результаты работ по улучшению параметров Новосибирского лазера на свободных электронах (ЛСЭ).

Ускоритель-рекуператор Новосибирского лазера на свободных электронах (ЛСЭ) служит источником электронов с энергиями 12, 20 и 40 МэВ для трёх ЛСЭ, входящих в состав уникальной научной установки «Новосибирский ЛСЭ». В связи с этим он имеет довольно сложную структуру, представленную на Рис. 6.4.1.

К сожалению, не все электроны, вышедшие из электронной пушки, попадают в поглотитель. Измерения токов показывают, что теряется несколько процентов электронов. При среднем токе пучка порядка 10 мА и энергии электронов 40 МэВ средняя мощность электронного пучка составляет 400 кВт. Поэтому даже относительно небольшие потери электронов могут приводить к нагреву и разрушению элементов вакуумной камеры. Другим следствием потерь электронов является жесткое ионизирующее излучение

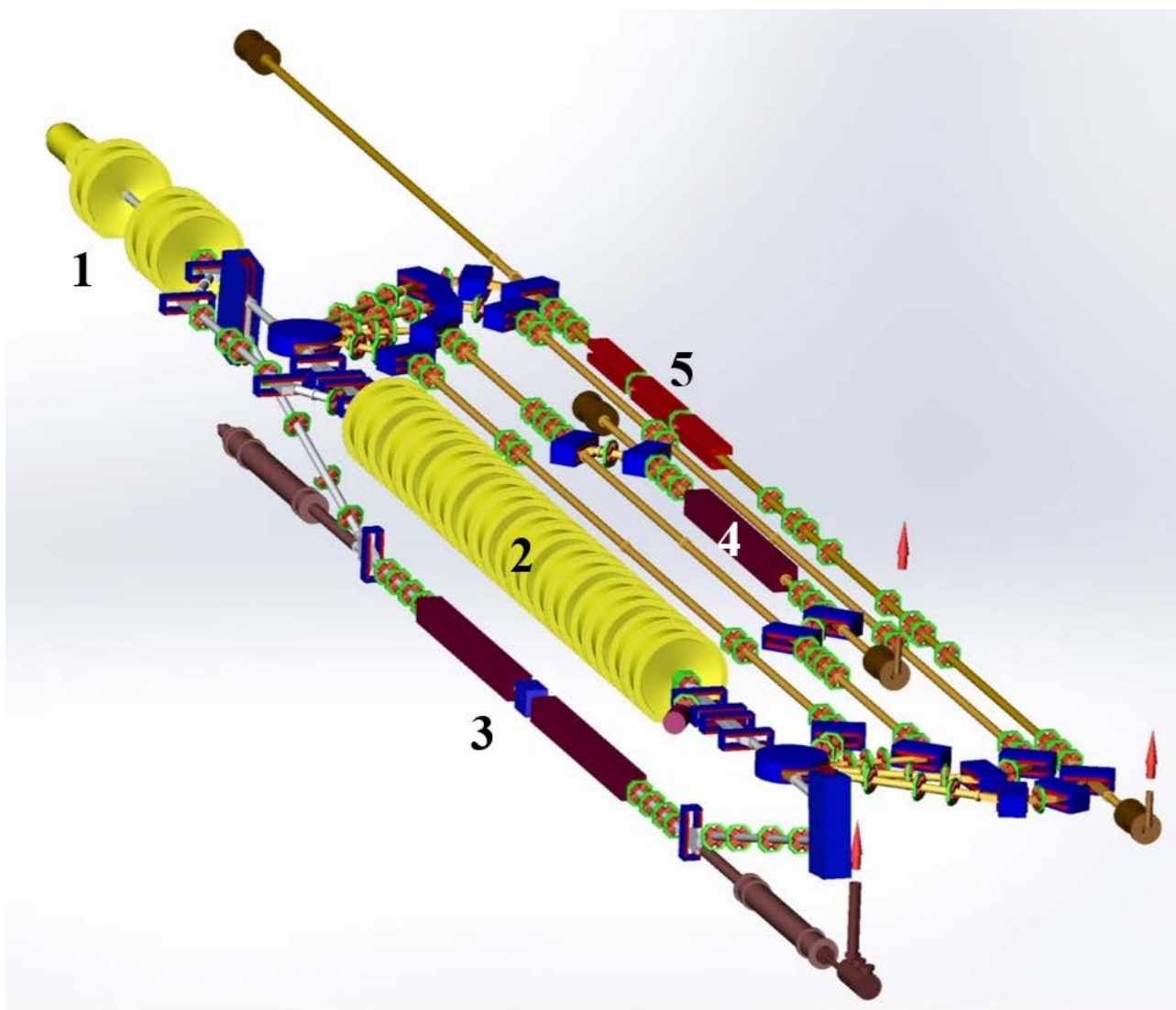


Рис 6.4.1. Схема установки «Новосибирский ЛСЭ». 1 – инжектор, 2 – основные ускоряющие резонаторы, 3 – модулятор первого ЛСЭ, 4 – модулятор второго ЛСЭ, 5 – модулятор третьего ЛСЭ.

Кроме того, при поглощении электронов с энергией более 10 МэВ в некоторых веществах (в частности, в нержавеющей стали) могут образовываться радионуклиды с временем полураспада от минут до месяца, что может сильно осложнить эксплуатацию установки. Поэтому изучение механизмов потерь электронов является актуальной проблемой.

При конструировании установки были приняты меры для снижения потерь электронов. Апертуры вакуумных камер существенно превышают среднеквадратичные размеры электронного пучка, а во многих местах установлены охлаждаемые водой медные и алюминиевые коллиматоры. Большая часть вакуумной камеры УР изготовлена из алюминия, не образующего долгоживущих радионуклидов.

Тем не менее, результаты измерений уровня гамма излучения в ускорительном зале говорят о наличии т. н. гало электронного пучка, т. е. электронов, находящихся на больших расстояниях от оси пучка. Появление гало может быть вызвано несколькими причинами. Во-первых, это эмиссия электронов с управляющей сетки. В электронной пушке катодно-сеточный узел работает в режиме, сильно отличающемся от режима работы в лампе. В пушке используется режим с большой скважностью (более 100) и пиковым током (более 1 А), когда на сетку подаётся положительное напряжение. При этом растёт токооседание на сетке, и она сильно греется. Кроме того, вещество катода испаряется и частично оседает на сетке. В результате незаметная в лампах эмиссия сетки может (из-за большой скважности и повышенной температуры сетки) давать значительный вклад в средний ток. Так как эмиссия с сетки идёт всё время, то большинство таких электронов фокусируются неоптимально и отходят далеко от оси пучка. Во-вторых, при группировке электронов с кинетической энергией 300 кэВ в пролётном промежутке передние и задние

электроны сгустка имеют энергии, сильно отличающиеся от средней, и не испытывают такой сильной дефокусировки полем пространственного заряда, как центральные частицы сгустка. В результате они могут отклоняться на большие углы и тоже попадать в гало. В третьих, гало может возникать из-за однократного рассеяния электронов на атомах остаточного газа, особенно в электронной пушке, где давление остаточного газа может быть довольно высоким из-за интенсивной десорбции и низкой скорости откачки.

Для устранения гало в электроннооптический канал между инжектором и основной ускоряющей структурой были установлены два медных коллиматора внутренним диаметром 20 мм. Это немного снизило прохождение электронов и нейтронные дозы.

В 2017 году для оптимизации прохождения в канал были установлены три дополнительных магнитных квадрупольных линзы. Предварительные измерения мощностей дозы по нейтронам показали некоторое их снижение.

6.4.2. Создание системы диагностики электронного пучка по синхротронному излучению.

Для измерения параметров электронного пучка УР в вакуумных камерах третьей и четвёртой дорожек установлены металлические зеркала, выводящие часть синхротронного излучения из поворотных магнитов через стеклянные окна наружу. При радиусе кривизны траектории 625 мм и энергии 40 МэВ критическая длина волны синхротронного излучения примерно равна 5 нм (расчётная интенсивность показана на Рис. 6.4.2).

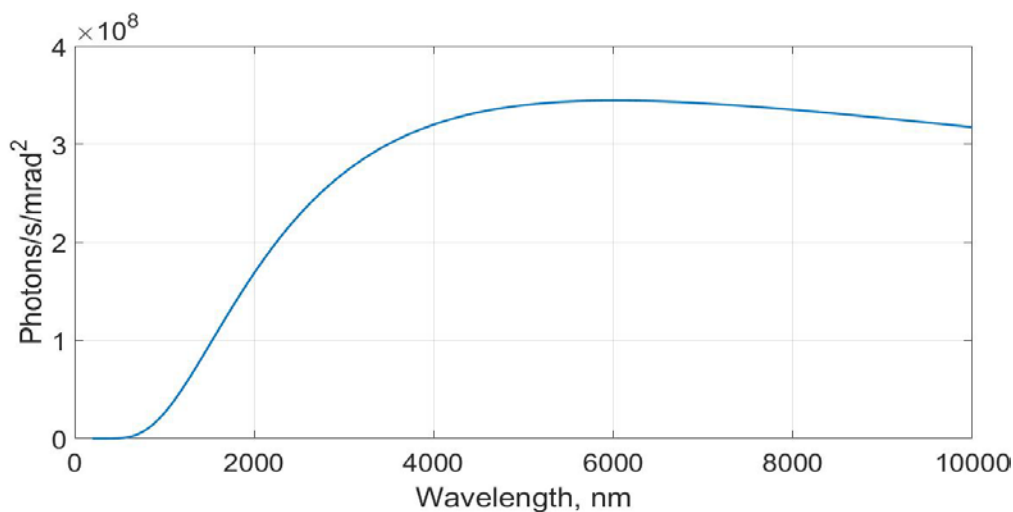


Рис. 6.4.2. Спектр синхротронного излучения из поворотного магнита четвёртой дорожки УР.

Поэтому интенсивность излучения, воспринимаемого телекамерой (1 мкм и короче), достаточна для измерения поперечного распределения электронов, показанного на Рис. 6.4.3.

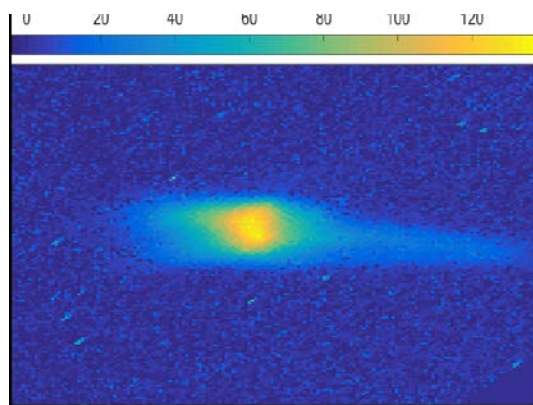


Рис. 6.4.3. Поперечное распределение электронов с энергией 40 МэВ. «Хвост» справа связан с наличием частиц, потерявших часть энергии в ЛСЭ.

Так как свет выходит с участка траектории, где горизонтальная координата частицы зависит от её энергии, то по поперечному распределению можно оценить энергетический разброс.

Кроме телекамеры для исследования параметров СИ планируется установить диссектор. Тогда можно будет измерить зависимость интенсивности синхротронного излучения от времени (по оценкам, длительность электронного сгустка должна быть порядка 10 пс).

6.4.3. Обеспечение работы пользователей терагерцового излучения.

Как и в прошлые годы, на пользовательских станциях Новосибирского ЛСЭ работали научные сотрудники из Института цитологии и генетики СО РАН, Института химической кинетики и горения СО РАН, Международного томографического центра СО РАН, Новосибирского государственного университета, Московского государственного университета, Российского университета дружбы народов (г. Москва) и других исследовательских учреждений.

Всего пользователям предоставлено около 1500 часов работы с излучением ЛСЭ.

В 2017 году были спроектированы и изготовлены в мастерских института элементы транспортного канала, переходные узлы, делители излучения и другие механические элементы для обеспечения излучением новых рабочих станций. На Рис. 6.4.4 показан спроектированный и изготовленный узел, который обеспечит подключение в новом рабочем зале четырех рабочих станций



Рис. 6.4.4. Фотография транспортного канала с устройством, обеспечивающим оперативное разветвление пучка НЛСЭ на четыре направления.

Одним из важнейших направлений исследований на НЛСЭ в центре коллективного пользования является исследование материалов. Для обеспечения проведения таких исследований был создан комплекс аппаратуры и приобретен большой набор оптико-механических элементов. На первой стадии (до изготовления и запуска новой оптической системы) это оборудование размещалось, главным образом, на площадях рабочих станций южного коридора. Актуальным направлением, эксперименты по которому были проведены в прошедшем году, была терагерцовая оптоакустика в жидкостях. Для проведения исследований была существенно модернизирована и использована в экспериментах акустооптическая ячейка.

Еще одной работой было расширение возможности выполнения экспериментов по исследованию динамики переходных процессов в различных материалах. Такого рода эксперименты могут выполняться двумя способами. В первом варианте объект возбуждается излучением НЛСЭ. Часть излучения ответвляется светоделителем, задерживается с помощью оптической линии задержки и просвечивает возбужденный первым импульсом образец. Изменяя в реальном времени длину линии задержки, можно определить время релаксации возбужденных состояний. Такую систему называют одноцветной системой «накачка-зондирование». В 2016 году она была запущена и использована для исследования релаксационных процессов в германии

при криогенных температурах. При этом для экспериментов использовался оптический стол рабочей станции СПИН. В 2017 году для этих экспериментов была выделена отдельная станция. Она была собрана на новом оптическом столе с использованием новой системы параболических зеркал. Одним из недостатков предыдущего варианта было сильное влияние поглощения терагерцового излучения парами воды в оптической линии задержки. Для устранения этой проблемы линия задержки была помещена в объем, продуваемый сухим азотом (Рис.6.4.5), а сама установка была накрыта шатром из пленки и продувалась воздухом, осушенным с помощью мембранного осушителя воздуха IDG1-100.



Рис. 6.4.5. Линия задержки с продувкой азотом. Видно также, что вся система помещена в «шатер», продуваемый сухим воздухом.



Рис. 6.4.6. Вывод транспортного канала к рабочей станции для исследования динамики релаксации процессов в конденсированных средах

Во втором варианте оптической системы для исследования релаксационных процессов объект возбуждается излучением одной длины волны, а зондируется он изучением с другой длиной волны. В

настоящее время к станции, предназначенной для «двухцветных» экспериментов, подведен спуск транспортного канала, и готовится установка фокусирующего зеркала (Рис. 6.4.6).

6.4.4. Разработка комплексной системы измерения параметров излучения в диапазоне 90 – 240 мкм, включая абсолютные измерения

Регистрация распределения интенсивности пучков излучения большого диаметра в дальнем инфракрасном диапазоне представляет собой нетривиальную задачу. В качестве одного из решений в случае достаточно мощного излучения мы предложили использовать термочувствительный интерферометр (ТЧИ). В этом приемнике используется интерферометр Физо с плоскопараллельной стеклянной пластиной в качестве рабочего элемента. Исследуемый пучок оставляет тепловой «отпечаток» на пластине, а распределение тепла по поверхности измеряется с помощью пробной плоской волны видимого идианазона, формирующей интерференционную картину.

Недостатками этого приемника были (1) использование наклонного падения лучей, ухудшавшее интерференционную картину, и (2) необходимость трудоемкой «ручной» обработки интерферограмм, что не давало возможности оперативно получать информацию об исследуемом пучке. В данной работе эти недостатки устранялись, во-первых, использованием автоколлимационной схемы интерферометра, и, во-вторых, использованием для обработки программы, написанной в среде Matlab. Однолучевая интерферометрия для измерения температуры образцов в различных технологических процессах применяется достаточно давно. Самым распространенным методом является метод лазерной интерференционной термометрии. Его принципиальная схема изображена на Рис. 6.4.7.

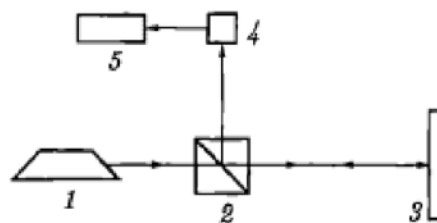


Рис. 6.4.7. Оптическая схема лазерной интерференционной термометрии в отраженном свете: лазер (1), светоделительный кубик (2), зондируемая пластинка (3), фотоприемник (4), компьютер (5).

Изменяя длину волны лазера можно, при помощи данного метода, измерять температуру различных материалов. Этот метод позволяет регистрировать достаточно медленные изменения температуры. В нашем варианте поверхность пластины экспонируется исследуемым дальним инфракрасным излучением, для

которого пластинка не прозрачна, в течение нескольких секунд, пока не начнется трехмерная диффузия тепла в пластине интерферометра. В течение этого времени с помощью пробного излучения видимого диапазона и измеряется энергия излучения локально поглощенного в пластине. После измерения примерно за минуту пластину можно охладить обдувом до комнатной температуры, после чего измерения можно повторить.

На Рис. 6.4.8 представлена схема экспериментальной установки. Интерферометр был собран по

автоколлимационной схеме. Во-первых, эта схема позволяет обеспечить лучшее пространственное разрешение в измерительном канале. Во-вторых, она позволяет юстировать систему освещения пластинки исследуемым излучением (в данном случае, падающим на Рис. 6.4.8 слева терагерцовым пучком) непосредственно полупроводниковым лазером, поскольку стеклянная пластинка пропускает видимый свет.

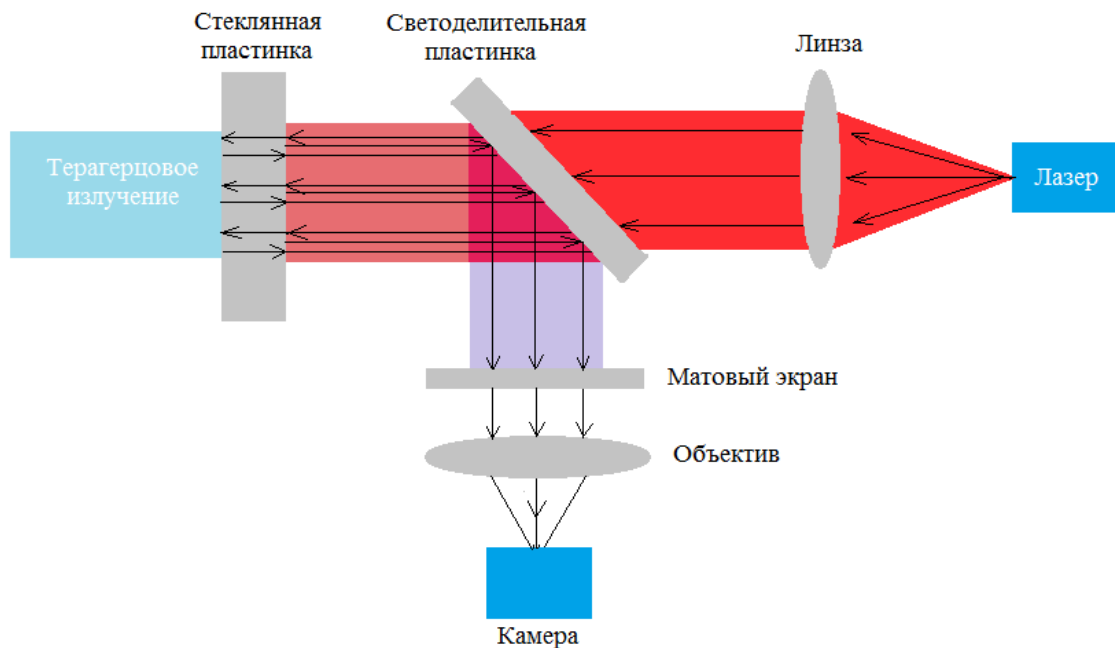


Рис. 6.4.8. Схема автоколлимационного термочувствительного интерферометра.

Принцип работы данного устройства следующий. Излучение лазера видимого диапазона (в нашем случае одномодового полупроводникового лазера с длиной волны 656 нм) коллимируется линзой и освещает пластинку из стекла К8 толщиной 10 мм. В устройстве использовались две сменные пластинки. Одна – плоскопараллельная, другая – клиновидная. Излучение, отраженное от передней и задней граней пластинки, отражалось светоделительной пластинкой на матовый экран, где два отраженных луча формировали интерференционную картину, которая регистрировалась скоростной камерой Optomotive HS, позволяющей записывать черно-белое видео размером 2048×2048 со скоростью до 333 кадра в секунду. В наших экспериментах использовалась скорость 100 к/с.

Недостатком данной оптической схемы является возникновение, кроме полезной интерференционной картины, дополнительной интерференции при отражениях рабочего излучения внутри светоделительной пластинки. Чтобы уменьшить ее влияние, на обращенную к матовому экрану сторону пластинки напылялся слой алюминия, отражающий 90% падающего излучения. Тем не менее,

интерференционная картина ослаблялась не полностью. Как будет ясно из теоретической части, при обработке интерферограмм эта стационарная часть интерферограммы не должна влиять на результат обработки.

В тестовых экспериментах записывалось распределение интенсивности в пучке лазера на свободных электронах, генерирующего терагерцовое излучение на длине волны 130 мкм в виде пучка, близкого по форме к гауссову пучку. В начале, терагерцовое излучение перекрывается затвором и не попадает на стеклянную пластинку. При этом пластинка имеет комнатную температуру. В некоторый момент времени затвор быстро открывается, и тонкий слой пластинки под действием падающего излучения нагревается несколько секунд. В течение этого времени наблюдается изменение интерференционной картины на матовом экране. Динамика этого процесса регистрируется камерой. Затем затвор закрывается, и пластинка охлаждается.

Записывая интерференционную картину с помощью скоростной видеокамеры, после простой обработки можно легко определить удельную плотность мощности излучения как функцию времени

или, интегрируя по времени, найти удельную энергию, поглощенную пластиной за время экспонирования. Поскольку все свойства оптических стекол хорошо известны, то измеренное значение мощности (энергии) является абсолютным, то есть мы имеем "абсолютный" измеритель мощности. Для коррекции результата на долю отраженной от стекла энергии достаточно однажды измерить коэффициент отражения при данной длине волны.

Для обработки интерферограмм была написана программа в среде MATLAB. Программа считывает

изображения из записанных скоростной камерой файлов в черно-белом формате. В ходе чтения производится усреднение значений пикселей по $m \times m$ соседним пикселям (этот параметр задается в качестве аргумента программы) и представляет полученные данные в форме трехмерного массива (где каждый элемент соответствует значению пикселя в точке в некоторый момент времени). В результате, получается зависимость значения пикселя от времени, изображенная на Рис. 6.4.9.

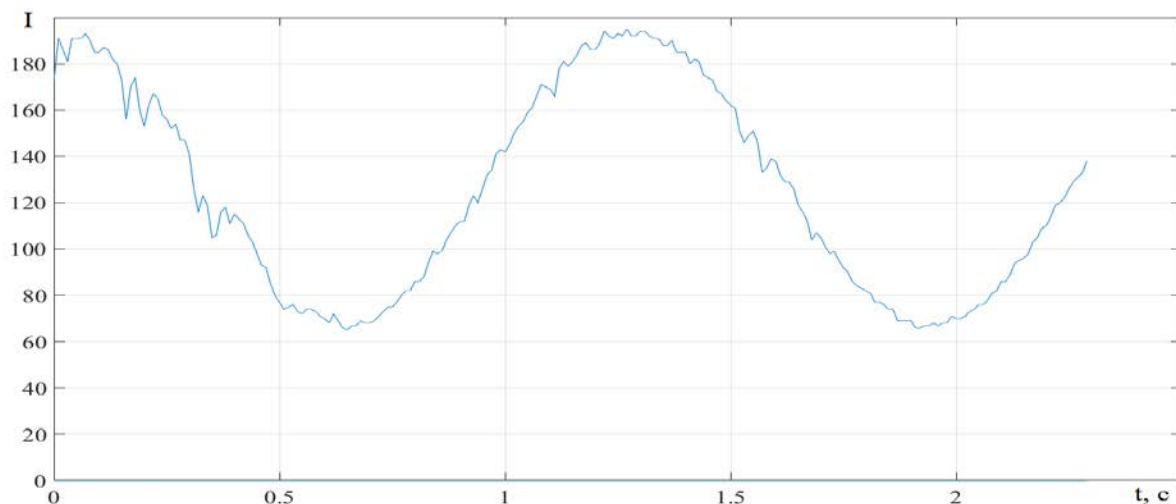


Рис 6.4.9. Изменение интенсивности пробного излучения в отдельном элементе матрицы скоростной камеры как функции времени при облучении стеклянной пластинки исследуемым излучением.

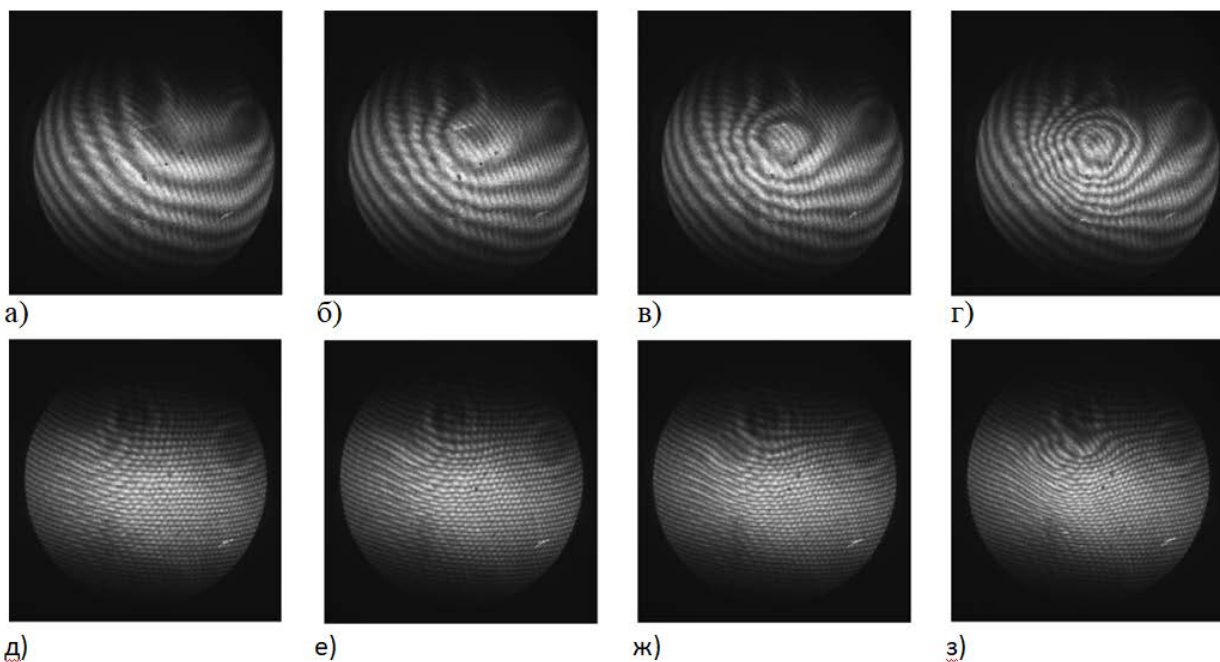


Рис. 6.4.10. Интерферограммы для плоскопараллельной (а-г) и клиновидной (д-з) пластинок в различные моменты времени: (а, д); $t = 1$ сек (б, е), 2 сек (в, ж), 5 сек (г, з).

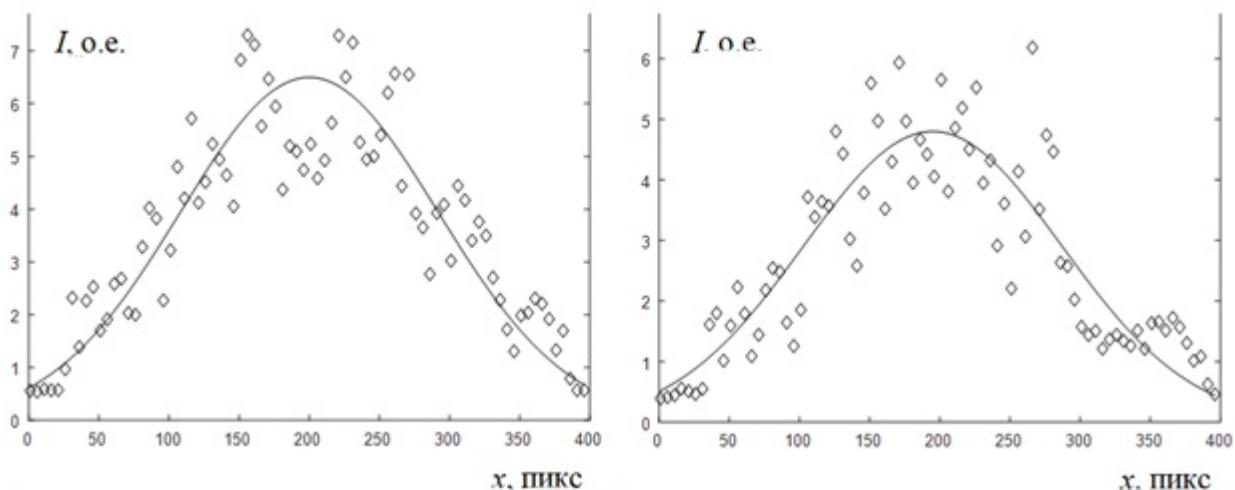


Рис. 6.4.11. Распределение энергии, полученной от терагерцового излучения клиновидной (слева) и плоскопараллельной (справа) пластинками в течение 3 сек и ее аппроксимация. – данные, прямая – аппроксимация.

Далее выполняется выборка заданного количества пикселей, и образуется новый массив. Над каждой точкой, попавшей в новый массив, совершается дискретное преобразование Фурье. В результате получается функция пропорциональная $\Delta N / \Delta t$ из приведенной выше формулы, представленная в виде массива. Полученные данные суммируются и представляются в виде графика распределения плотности мощности. Также эти данные записываются в отдельный файл для последующего использования.

На Рис. 6.4.10 представлены интерферограммы, полученные при облучении терагерцовым излучением пластинок двух типов в различные моменты времени. После обработки полученных в ходе эксперимента данных при помощи программы получились графики распределения энергии, представленные на Рис. 6.4.11. Кривые на рисунках - аппроксимация гауссовой функцией.

$$I(x) = A \cdot \exp\left(-\frac{2(x-b)^2}{w^2}\right).$$

Интегрируя экспериментально измеренные распределения плотности мощности, записанные ТЧИ при разных длинах волн в разных экспериментальных сессиях, были получены значения мощности пучка НЛСЭ от 25 до 60 Вт. Используя эти данные, был абсолютно прокалиброван покупной прибор Орхуг ЗАР-ТНz. Поскольку максимально допустимая мощность, измеряемая этим прибором, составляет 3 Вт, а нижний предел чувствительности измерений для ТЧИ равен примерно той же величине, то в настоящее время на рабочих станциях НЛСЭ имеется система, обеспечивающая абсолютные измерения распределения плотности мощности для пучков любой интенсивности.

6.4.5. Исследование устройств для формирования пучков терагерцового излучения с различными типами поляризации и пучков с орбитальным угловым моментом.

Для преобразования гауссова пучка лазера на свободных электронах в пучки заданного модового состава были использованы разработанные по нашему заданию дифракционные оптические элементы (ДОЭ). В качестве материала ДОЭ использовался кремний низкой проводимости, прозрачный в терагерцовом и дальнем инфракрасном диапазонах. Фотографии бинарных ДОЭ, формирующих эрмит-гауссовы пучки разных порядков, приведены на Рис. 6.4.12.

Элемент, показанный слева, формировал эрмит-гауссов пучок первого порядка (HG₁₀), состоящий из двух вертикально разделенных пятен, с противоположными поляризациями (см. Рис. 6.4.13, слева вверху). Действительно, при интерференции гауссова пучка с пучком HG₁₀ интерференционные полосы (Рис. 6.4.13, справа) от двух пятен смещались на половину периода. Были изготовлены два таких ДОЭ. При интерференции сформированных ими пучков по схеме, показанной на Рис. 6.4.13, генерировался векторный пучок с радиальной поляризацией. Полученный пучок, сечение которого показано на Рис. 6.4.14, имел радиальную поляризацию. Наблюдающиеся дополнительные кольца можно объяснить неточностями юстировки.

Кроме системы для формирования векторных пучков, нами была модифицирована ранее созданная система для исследований кругового дихроизма и для эллипсометрии, ключевым элементом которой был интерферометр Майкельсона с движущимся зеркалом (Рис. 6.4.15).

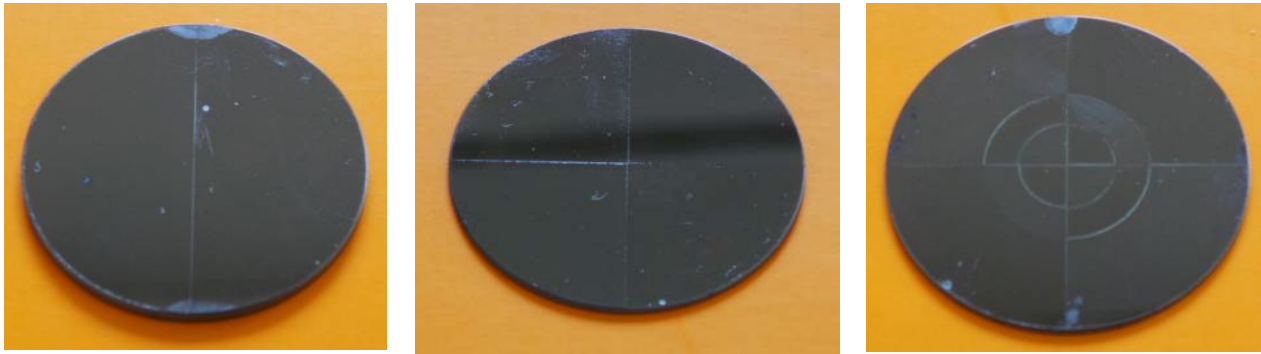


Рис. 6.4.12. Бинарные дифракционные оптические элементы.

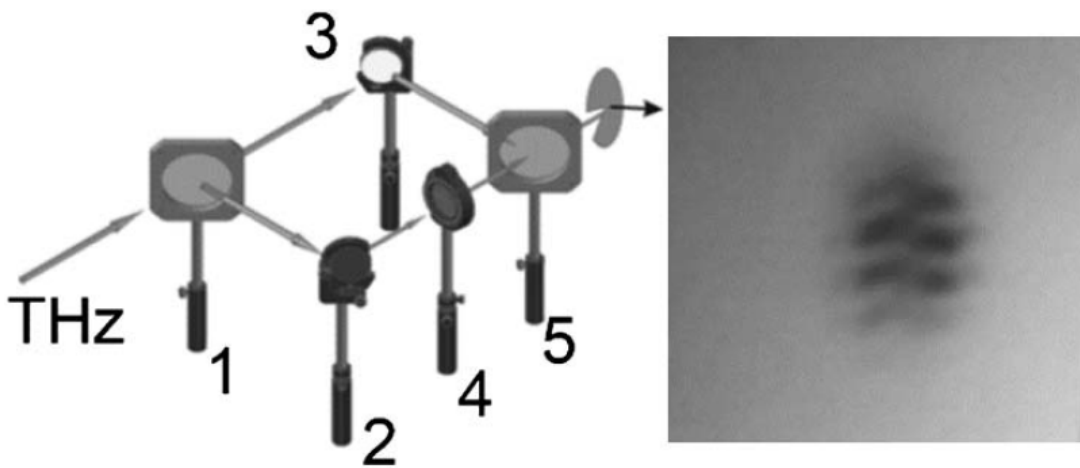


Рис. 6.4.13. Интерференция гауссова пучка с пучком сформированным ДООЭ, показанным на Рис. 6.4.12 слева, в интерферометре Маха-Цендера.

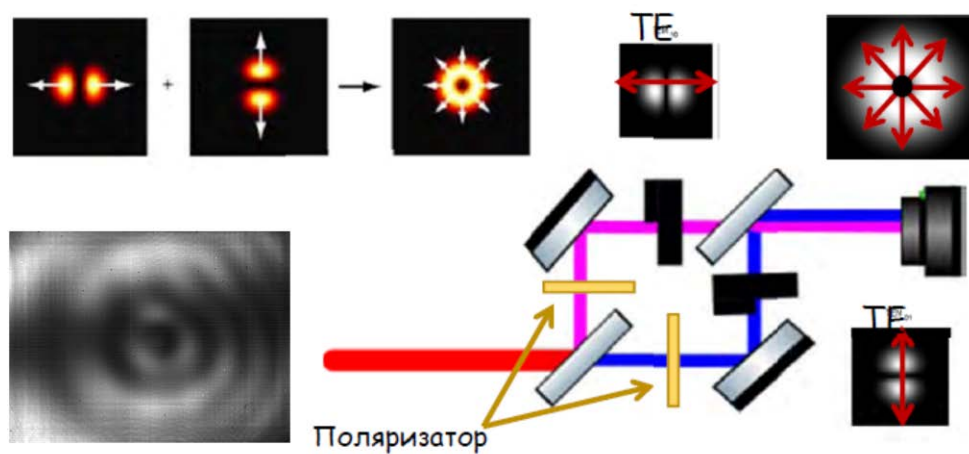


Рис. 6.4.14. Схема формирования векторного пучка при интерференции двух взаимно-перпендикулярных эрмит-гауссовых пучков в интерферометре Маха-Цендера. Слева внизу результат эксперимента на НЛСЭ.

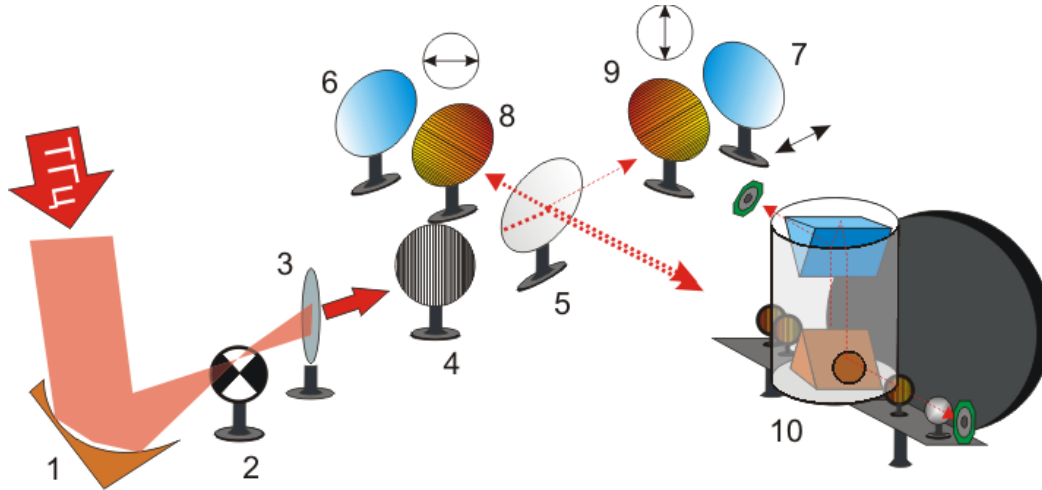


Рис. 6.4.15. Модифицированная схема интерферометра Майкельсона. 1 – параболическое зеркало; 2 – обтюратор; 3 – кремниевая линза; 4 – проволочный поляризатор; интерферометр Майкельсона: 5 – пленочный светоделитель, 6 – неподвижное зеркало, 7 – подвижное зеркало, 8, 9 – пленочные поляризаторы с ортогональными осями; 10 – эллипсометр.

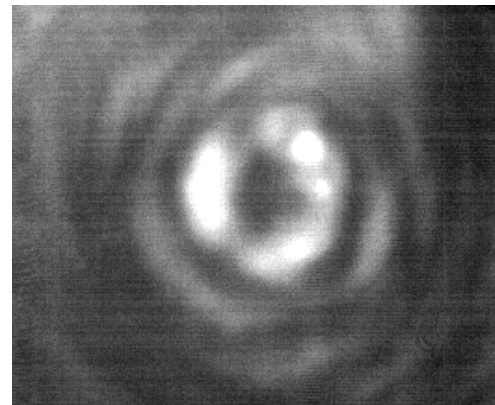


Рис. 6.4.16. Бинарный спиральный аксикон третьего порядка и сечение сформированного им пучка при длине волны 130 мкм на расстоянии 300 мм от аксикона.

В первоначальной схеме в качестве фазосдвигающего элемента использовались поляризатор с осью 45° и кремниевая призма, которые преобразовывали линейную поляризацию на входе в круговую с точностью $\Delta=86^\circ$. Выставление круговой поляризации крайне важно для измерения оптической активности, поэтому фазосдвигающий элемент был заменен на схему, построенную по принципу интерферометра Майкельсона. Подвижное зеркало 7 при помощи шагового двигателя перемещалось с точностью 1,25 мкм, изменяя набег фаз между интерферирующими волнами с ортогональными поляризациями, образованными поляризаторами 8 и 9. При тестировании интерферометра «на просвет» измерена зависимость разности фаз интерферирующих волн от расстояния, пройденного подвижным зеркалом. В такой конфигурации удалось добиться

рекордной для терагерцового диапазона величины эллипсометрического параметра, равной $\Delta=89,5^\circ$.

Используя бинарные фазовые аксиконы со спиральной структурой зон, ранее нами были сформированы пучки с квантовыми числами орбитального углового момента (ОУМ), равными по модулю 1 и 2. К настоящему времени изготовлен бинарный фазовый аксикон диаметром 100 мм (Рис.6.4.16). Первый экземпляр его из-за погрешностей травления был недостаточно хорошего качества, но даже в этом случае был сформирован закрученный пучок с топологическим зарядом 3 приемлемого для экспериментов качества. Для пучков с топологическим зарядом 1, для 2 были проведены эксперименты и выполнено численное моделирование, результаты которых хорошо согласуются. Аналитически было показано, что радиус пучка ρ с ОУМ зависит только

от величины топологического заряда и $\rho = z/\kappa r$, где z – длина, на которой существует нерасходящийся квазибесселев пучок, а r – радиус аксикона, и не зависит от длины волны излучения. Поскольку Новосибирский ЛСЭ является источником монохроматического ТГц излучения, и длина волны может быть плавно перестроена в диапазоне 30÷240 мкм, мы рассчитали характеристики пучков, которые можно получить с помощью имеющихся ДОЭ во всём этом диапазоне.

Данный аксикон был рассчитан, для генерации бесселевых пучков с ОУМ на длине волны излучения $\lambda_0 = 141$ мкм. Фазовый элемент с высотой профиля h равной 29,1 мкм был получен методом плазменного травления кремния. Оптическая разность фаз (на бинарной ступеньке) определялась по формуле $\Delta\varphi = k \cdot h \cdot (n_{Si} - 1)$, где k – волновой вектор, n_{Si} – показатель преломления кремния, равный 3,42, и составляла $\Delta\varphi(\lambda_0) = \pi$.

Поскольку бинарный аксикон – это круговая (в нашем случае – спиральная) дифракционная решетка, угол дифракции волны находится из уравнения $d \cdot \sin \theta = m\lambda$, то есть, угол θ дифракции обратно пропорционален длине волны λ . В свою очередь от угла θ зависит длина «существования» бесселева пучка z , которая определяется зоной пересечения в пространстве конических плоских волн позади аксикона: $z = r/\tan \theta$. Таким образом, при

$\lambda_0/3 = 47$ мкм $\Delta\varphi$ равно 3π , а дистанция, на которой пучок сохраняет свое поперечное сечение (длина «бездифракционного» распространения), увеличивается (Рис. 17) примерно в 3 раза (порядка 750 мм вместо 250 мм при $\lambda_0 = 140$ мкм). При $\lambda = 70$ мкм ($\lambda_0/2$) набег фазы составляет 2π , дифракция на решетке отсутствует, и пучок за аксиконом сохраняет гауссово распределение. Для других длин волн оптическая разность хода будет составлять $\Delta\varphi = \pi \cdot \lambda_0/\lambda$, то есть, дифракционная эффективность формирования бесселевой моды зависит от длины волны. Сечения пучков показаны на Рис. 6.4.17. В соответствии с теоремой Парсеваля, дифракционную эффективность формирования бесселевого пучка можно найти, выполнив оптическое фурье-преобразование сформированного аксиконом пучка и определив долю энергии в фурье образе бесселева пучка, который, как известно, представляет собой кольцо (Рис. 6.4.18). Это кольцо радиусом $R = tg\theta \cdot f$ можно наблюдать в фокусе линзы. Ширина кольца определяется дифракционной расходимостью.

Мы обнаружили и в экспериментах, и в расчетах, что фурье-спектр пучка, формируемого бинарным аксиконом, представляет собой не кольцо, а распадается на систему спиралей, тогда как в случае киноформного элемента наблюдается сплошное кольцо (Рис. 6.4.18).

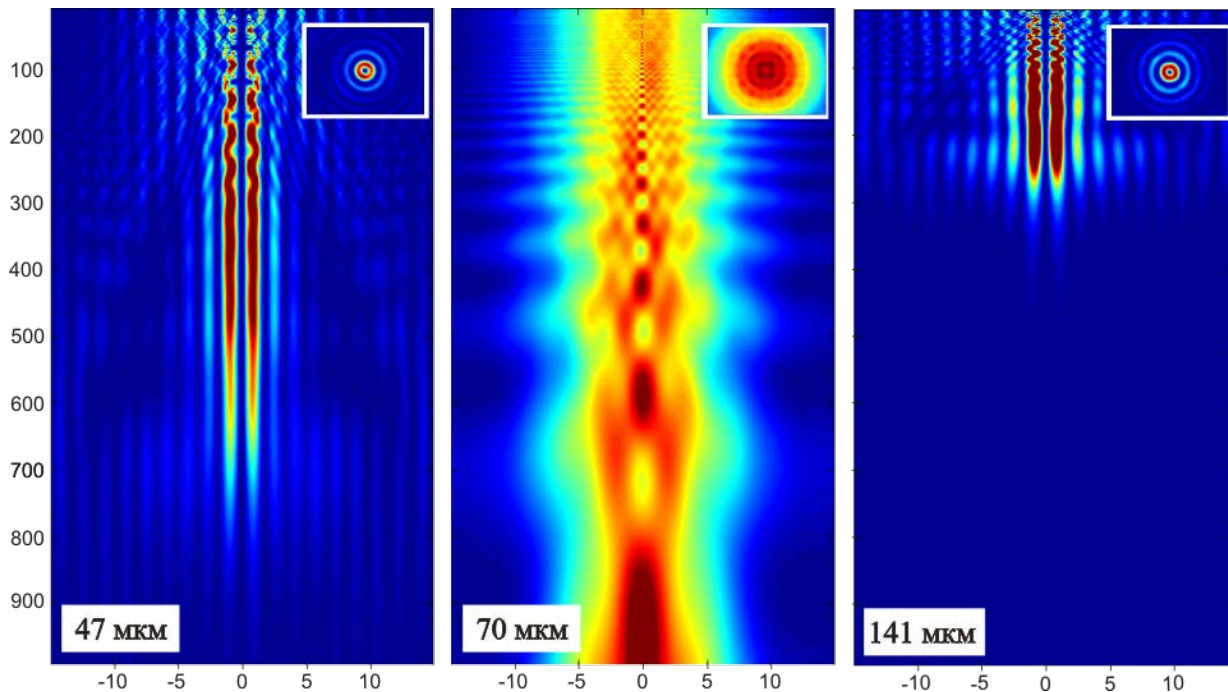


Рис. 6.4.17. Моделирование продольного сечения пучка для длин волн 47, 70 и 141 мкм в диапазоне 10÷1000 мм после аксикона.

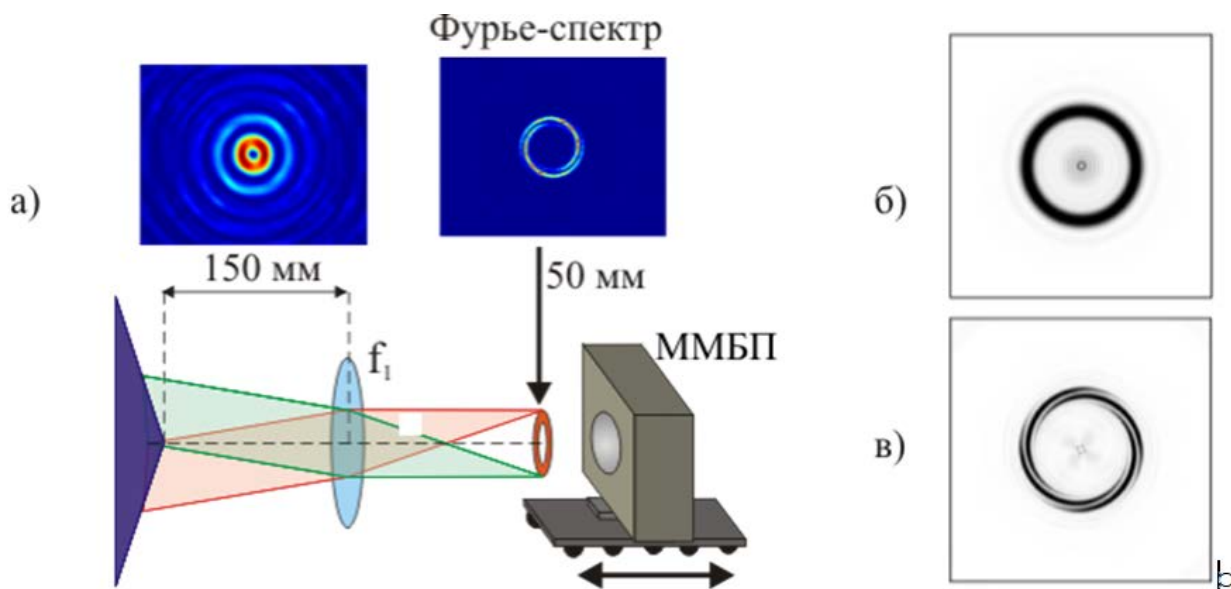


Рис. 6.4.18. (а) Схема эксперимента по формированию фурье-спектра закрученного бесселева пучка. Фурье-спектр киноформного (б) и бинарного (в) элементов.

6.5. РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СИ

6.5.1. Сверхпроводящие вигглеры.

В 2017 году были проведены работы, как по изготовлению новых сверхпроводящих криогенных магнитных систем, так и по модернизации уже существующих генераторов СИ по контрактам с различными ускорительными центрами.

В марте 2017 была проведена модернизация криогенной системы вигглера, установленного ИЯФ СО РАН на накопитель CLS (Саскатун, Канада) в 2005 году. Данная модернизация заключалась в замене некоторых узлов криостата на более совершенные, соответствующие современной концепции криогенной системы с нулевым расходом гелия. В частности, в существующую криогенную систему были встроены более мощные криокулеры фирмы Sumitomo для охлаждения гелиевого сосуда и экранов, позолоченные медные теплообменники для повышения эффективности реконденсации гелия, а также дополнительные тепловоды для перехвата притока тепла на вакуумную камеру. В результате этих действий был не только достигнут нулевой расход жидкого гелия, но и получено пониженное относительно наружной атмосферы давление в гелиевом сосуде. Заранее предполагая этот эффект, сильфонный узел центральной горловины криостата

был также заменён на новый узел, имеющий аварийный сброс в атмосферу в случае образования ледяной пробки в горловине. Понижение давления в гелиевом сосуде до 0,33 бар привело также к соответствующему понижению температуры кипения жидкого гелия до 3,4 К и позволило поднять уровень магнитного поля в вигглере до 2,3 Тл вместо начальных 2 Тл, благодаря смещению токовых характеристик сверхпроводящего провода. На Рис.6.5.1 представлен данный вигглер в процессе модернизации криогенной системы. В настоящее время модернизированный вигглер обеспечивает работу канала Hard X-ray MicroAnalysis (HXMA), использующего методики XAFS, рентгеновской дифракции и микроскопии.

В декабре 2017 года была проведена глубокая модернизация магнитной системы 49-полюсного сверхпроводящего вигглера с полем 3,5 Тл и периодом 64 мм, который был создан ИЯФ СО РАН для накопителя ELETTRA (Триест, Италия) и эксплуатируется там с 2002 года. В процессе оптимизации были изменены параметры сверхпроводящих обмоток. В результате удалось не только повысить максимальный уровень магнитного поля в вигглере с начальных 3,5 Тл до 3,8 Тл, но и одновременно в несколько раз снизить индуктивность обмоток и величину запасённой энергии. Это позволило радикально уменьшить испарение жидкого гелия и исключить его потери в случае срыва сверхпроводимости. На Рис.6.5.2 показан внешний вид данного вигглера после модернизации магнитной системы. В настоящее

время вигглер обеспечивает работу двух каналов вывода излучения для изучения материалов при высоком давлении дифракционными методами.



Рис. 6.5.1. 63-полюсный вигглер для CLS (Саскатун, Канада) с полем 2 Тл и периодом 34 мм во время модернизации криогенной системы.

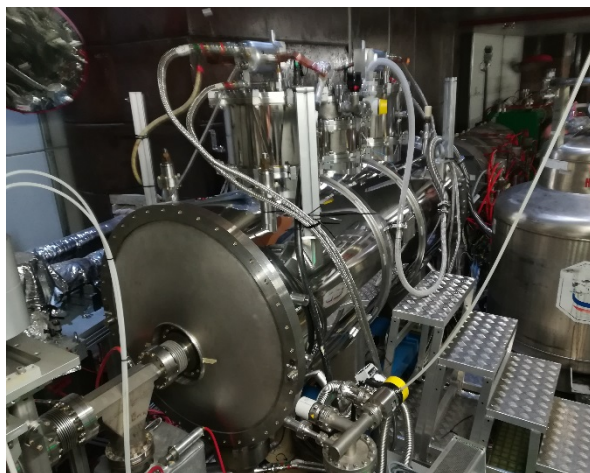


Рис. 6.5.2. 49-полюсный вигглер с полем 3,5 Тл и периодом 64 мм на накопителе ELETTRA после модернизации магнитной системы.

В декабре 2017 был изготовлен сверхпроводящий магнит для 22-полюсного вигглера с полем 7 Тл и периодом 127 мм для накопителя DELTA (Дортмунд, Германия) с энергией 1,5 ГэВ. Особенностью этого вигглера является очень широкая горизонтальная апертура для вывода излучения (~100 мм), благодаря низкой энергии электронного пучка и высокому уровню магнитного поля вигглера. Установка этого вставного устройства позволит проводить эксперименты с ранее недоступными ранее на этом накопителе энергиями квантов до 30 кэВ одновременно на двух канала вывода излучения. На

Рис.6.5.3 показан момент установки магнитной системы вигглера в гелиевый сосуд криостата. Вигглер будет запущен в эксплуатацию на накопителе DELTA в 2018 году.



Рис. 6.5.3. Процесс установки сверхпроводящей магнитной системы 22-полюсного вигглера с полем 7 Тл и периодом 127 мм для накопителя DELTA (Дортмунд, Германия) в гелиевый сосуд криостата.

7

РАДИОФИЗИКА И
ЭЛЕКТРОНИКА

7.1. РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

7.1.1. Работы по системам управления будущих установок.

В 2017 году продолжилась разработка аппаратных и программных средств систем управления будущих ускорительных комплексов, начатая в предыдущие годы. Основной целью работ этого года являлось детальная проверка и получение опыта работы с аппаратурой и программами, подготовленными ранее, на реальной экспериментальной установке.

Аппаратные средства. Напомним, что в качестве аппаратной платформы магистрально – модульных систем будущих установок выбран стандарт VME 64х. Несмотря на то, что первая версия этого стандарта появилась в конце 90-х годов прошлого века, он активно применяется на новых зарубежных комплексах: NSLS-II, KEKB, DESY. В 2017 году закончена разработка широкого набора VME модулей: системный и локальный таймеры, модули цифровой осциллографии, интерфейсные модули, цифровые интеграторы. Эта аппаратура изготовлена радиопроизводством ИЯФ в количествах, достаточных для построения систем управления опытных установок и стендов и проверки её функционирования в реальных условиях.

Кроме набора модулей были спроектированы и изготовлены в заметных количествах крейты, поддерживающие стандарт VME 64х. Важнейшим свойством разработанного крейта является допускаемое стандартом расширение функционала нижней магистрали J2 с целью организации межмодульной синхронизации и обмена. Крейт с таким расширением получил в институте название VME 64 BINP (см. рис.7.1.1).



Рис. 7.1.1. Фотография крейта VME 64 BINP с набором модулей

Крейты с набором модулей, сконфигурированными под определённую задачу, позволяют создавать высокопроизводительные многофункциональные

управляющие узлы (локальные контроллеры). Это в свою очередь даёт возможность строить на этой основе разветвлённые системы управления физических комплексов.

В качестве объекта для полномасштабных испытаний аппаратных средств была выбрана опытная установка, представляющая собой линейный ускоритель индукционного типа. Базовыми элементами системы управления этой установкой являются локальные контроллеры, образующие линейно распределённую управляющую структуру. Локальные контроллеры размещаются в стойке «Евромеханика» и выполняют все необходимые операции по управлению/контролю ближайшими ускорительными модулями. На рис.7.1.2 представлена фотография локального контроллера.

Интеллектуальным центром локального контроллера является крейт VME 64 BINP. Возможность организации межмодульной синхронизации и обмена оказалось крайне важным для управления импульсной установкой, работающей в наносекундном диапазоне времён. По-видимому, это свойство будет востребовано и в импульсных системах циклических ускорителей. В крейте установлен набор VME-модулей, образующих подсистемы таймирования, медленного и быстрого осциллографического мониторинга, CAN-устройств, быстрых блокировок.

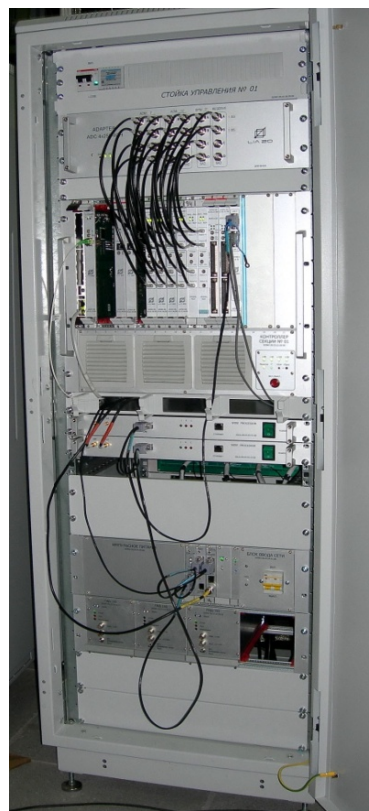


Рис. 7.1.2. Фотография локального контроллера системы управления линейного ускорителя.

В стойке локального контроллера размещены также источники питания импульсных линз,

периферийные контроллеры системы оперативной геодезии, модуль – адаптер для нормализации сигналов с первичных датчиков. В управлении линейным ускорителем задействовано восемь локальных контроллеров.

На начальном этапе проводки пучка в линейном ускорителе существенное значение имеет информация, в каком месте ускорительного тракта пучок задевает за стенки вакуумной камеры. Такие данные удалось получить с помощью системы из пластиковых световодов и модулей ADC4X 250 APD.



Рис.7.1.3. VME модули ADC4X 250 APD с оптическим входом для определения места и величины потерь пучка в ускорительном тракте.

Несколько световодов подведены к разным участкам ускорительного тракта и в этих местах обвивают вакуумную камеру. Пучок, задевая камеру, вызывает рентгеновское излучение, которое в свою очередь приводит к свечению участка световода. Модуль ADC4X 250 APD имеет четыре оптических входа, куда и подключаются световоды. Фотография тестовой 8-канальной системы, выполняющей описанные выше измерения, показана на рис. 7.1.3.

Преобразуя поступающие световые вспышки в цифровые данные, можно с хорошей точностью определить место «высыпания» пучка, а также качественно оценить потери пучка. Содержательную информацию о прохождении пучка даёт осциллограмма светового импульса (см. рис 7.1.4.), из которой можно увидеть соответствие энергии пучка параметрам фокусировки. **Программное обеспечение будущих установок.** На сегодняшний день наиболее реальной программной платформой для будущих

установок представляется платформа TANGO. Чтобы получить опыт работы в этой среде в 2017 году для системы управления линейного ускорителя разработаны системные программы и драйверы нижнего уровня для работы со всеми устройствами на установке, а также завершена разработка большинства инженерных операторских программ. В общей сложности разработано около 50 программ и библиотек, размещённых в общем депозитарии, при помощи которого ведётся совместная разработка.

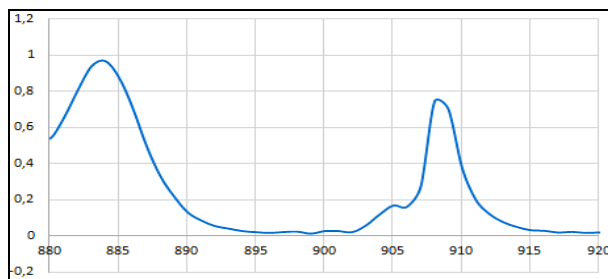


Рис.7.1.4. Осциллограмма светового импульса при «высыпании» пучка на вакуумную камеру на переднем и заднем фронте; центральная по времени часть проходит без потерь.

Программная инфраструктура развёрнута на ряде виртуальных серверов KVM, что позволяет разделить среды исполнения отдельных подсистем, делать резервные копии, а также облегчает обновление ПО.

Одной из наиболее сложных подсистем установки является система таймирования, включающая большое количество каналов, требующих взаимосогласованной настройки. Изменение настроек в одном из каналов влечёт за собой перестройку ещё целой группы каналов. Для эффективного проведения этих операций предложен метод и написана первая версия соответствующей программы.

Предложенный метод проиллюстрирован на рис. 7.1.5. Разработанное инженерное ПО на платформе TANGO и настроенная программная инфраструктура обеспечили запуск ускорителя и получение в декабре 2017 г. первого пучка. На рис.7.1.6 показаны окна рабочих программ, подготовленных в среде TANGO.

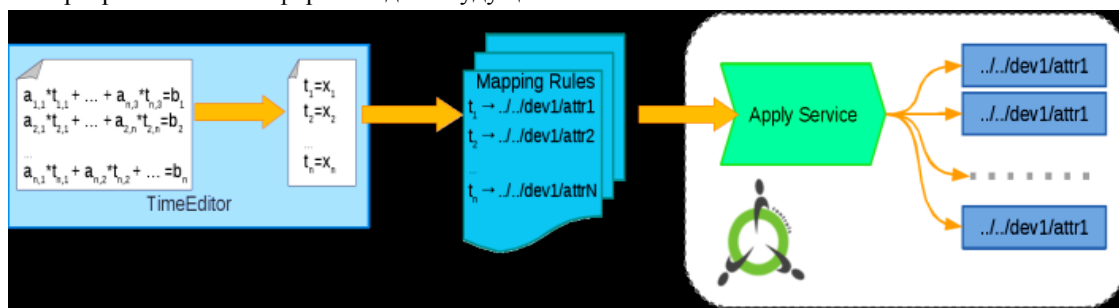


Рис.7.1.5. Иллюстрация метода взаимосогласованной перестройки времён.



Рис.7.1.6. Окна рабочих программ, подготовленных в среде TANGO.

7.1.2. Участие в создании комплекса «НИКА».

В 2017 г. возрос объём работ по электронике для автоматизированного управления элементами комплекса «НИКА». В этом разделе приводятся сведения об этих работах.

Комплект аппаратуры для измерения магнитного поля в бустере. Этот комплект является завершающим звеном в ВЧ системе бустера, создававшейся в ИЯФ в течение нескольких лет. В комплект аппаратуры входят следующие узлы и устройства:

- криогенный индукционный датчик;
- криогенный ЯМР-датчик;
- прецизионный цифровой интегратор;
- электроника для ЯМР-датчика.

Основное назначение индукционного датчика – генерация сигнала, пропорционального производной магнитного поля, при перестройке поля в ускорительном цикле. Этот сигнал подаётся в контроллер ВЧ-станций, который в свою очередь задаёт частоту и фазу для ВЧ-каскадов и управляет ими в течение ускорительного цикла. Соотношение поле/частота должно выдерживаться с погрешностью лучшей, чем 10^{-4} , поэтому точное знание эффективной площади индукционной катушки необходимо.

Датчик представляет собой точно изготовленную многovitковую плоскую катушку, которая вклеивается в каркас из стеклотекстолита G10-CR (см. рис. 7.1.7). Каркас с датчиком устанавливается в магнит, включенный последовательно с дипольными магнитами бустера.

Для точного измерения и периодической калибровки эффективной площади при работе бустера предназначены ЯМР магнитометр и интегратор.

Кроме того, эти устройства будут предоставлять данные о целом ряде важнейших параметров магнитного поля: зависимости поля от тока, времени установления поля при выходе на полочку фазы

охлаждения, стабильности поля от цикла к циклу, уровне пульсаций.

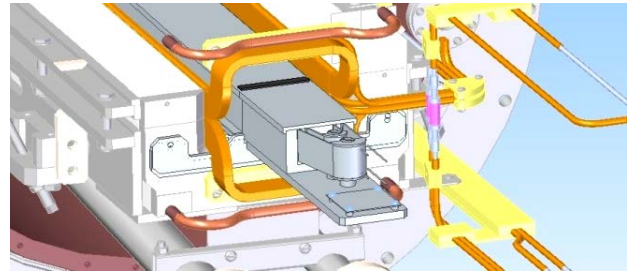


Рис.7.1.7. Каркас с индукционным датчиком (серый цвет) в яме криогенного магнита бустера.

Запуск 60 МэВ кулера для бустера «НИКИ». В 2017 г. большой комплекс работ выполнен по тестированию сначала на территории ИЯФ, а затем в ОИЯИ 60 МэВ кулера для бустера комплекса «НИКА». Тестирование в ИЯФ, проводимое летом 2017 г., позволило выявить ряд решений, потребовавших доработок как в схемотехнике, так и в конструкции электроники. Вследствие этого перекомпонованы печатные платы и блоки высоковольтных усилителей для питания электродов пушки, что облегчило температурный режим блока и позволило полностью реализовать потенциал по выдаваемой мощности.



Рис.7.1.8. Комплект доработанных электронных блоков 60-МэВ кулера перед отправкой в Дубну.

Также были улучшены схемотехнические решения некоторых блоков высоковольтного терминала и их новые версии подготовлены для отправки в ОИЯИ (рис.7.1.8).

Весьма сложной была работа по прецизионной стабилизации напряжения 60 кВ, задающего энергию электронного пучка. Для качественного функционирования кулера необходима стабильность этого напряжения на уровне 10^{-5} . Добиться такой стабилизации возможно только с помощью комплекса специальных мер: правильной конструкцией высоковольтного делителя, его термостабилизацией, соответствующими решениями в электронике. Как показало тестирование в ИЯФ, частотной полосы предполагаемой вначале цифровой системы стабилизации оказалось недостаточно из-за

большого уровня пульсаций с частотами 150÷300 Гц в цепях высоковольтного терминала.

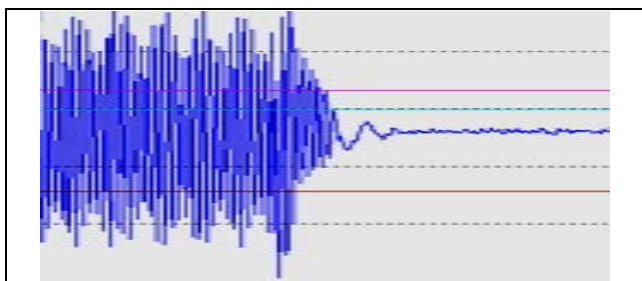


Рис.7.1.9. Подавление пульсаций с частотами 150 - 300 Гц при включении аналогового «подавителя». Напряжение высоковольтного терминала 40 кВ, начальная величина пульсаций 30 В, после включения подавителя ~ 0.3 В.

Для подавления этих пульсаций потребовалось разработать дополнительную подсистему аналоговой стабилизации. Демонстрация эффективности её работы показана на рис.7.1.9.

Результаты тестирования в ИЯФе, дают основания предполагать, что стабильность высокого напряжения будет не хуже, чем 10^{-5} .

Цифровой «Компас». Для эффективного охлаждения тяжёлых частиц пучком электронов необходима высокая однородность магнитного поля на оси соленоида: его поперечная составляющая не должна превышать 10^{-5} от продольной. Это достигается механической юстировкой секций соленоида после измерения фактической неоднородности системой "Компас".

При юстировке всех, изготовленных до 2017 г. кулеров, применялась аналоговая система «Компас», регулировки которой приходилось менять в зависимости от исполнения механических элементов системы для различных кулеров и их источников питания. В 2017 году изготовлен макет цифровой электроники для «Компаса», позволяющей оперативно, с помощью программы, перенастраивать параметры электронных цепей.

Макет цифрового «Компаса» опробован на стенде юстировки оптики и механики компаса.

7.1.3. Электроника для экспериментов с синхротронным излучением.

В 2017 году продолжена работа по подавлению быстрых вертикальных осцилляций пучка СИ накопителя ВЭПП-3.

В системе подавления сигнал с быстрого дифференциального датчика положения пучка СИ после обработки и усиления подается на быстрый корректор положения электронного пучка накопителя (наложенную на вакуумную камеру пару безжелезных катушек), формируя цепь отрицательной обратной связи. Основным фактором, ограничивающим как рабочую полосу частот, так и максимальное подавление, здесь оказывается экранирующее влияние металлической камеры ВЭПП-3.

Увеличить устойчивости петли обратной связи и улучшить подавление колебаний в диапазоне частот 25-300 Гц до 10 раз удалось введением в петлю обратной связи звеньев ПИД-регулятора. На рис.7.1.10 приведены осциллограммы сигнала детектора с разомкнутой (верхняя) и замкнутой (нижняя) обратной связью.

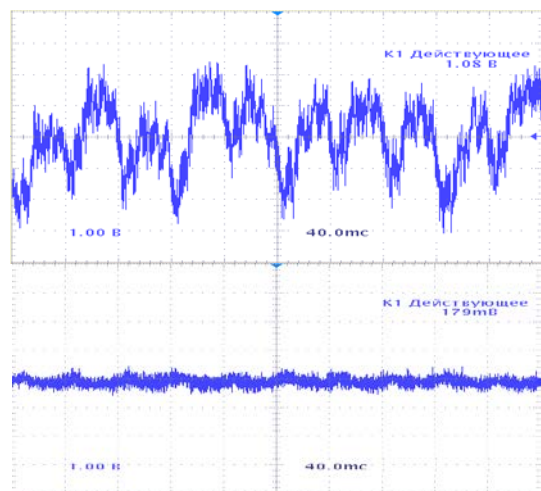


Рис.7.1.10. Сигнал от пучка СИ на детекторе, расположенным на расстоянии 15 м от источника. Одно деление по вертикали ~ 2 мкм.

В 2017 году начаты работы по внедрению программируемых логических контроллеров (ПЛК) во вновь создаваемые автоматизированные системы и стенды. Основная область применения ПЛК – измерения и блокировки в вакуумной технике, температурные измерения и блокировки, давление и протоки охлаждающей жидкости, позиционный контроль.

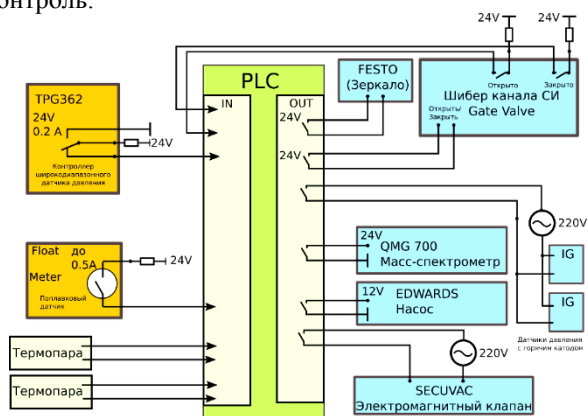


Рис.7.1.11. Структура системы управления стендом для изучения воздействия СИ на покрытия вакуумных камер

Первая работа, в которой предполагается использование ПЛК – стенд для исследования газовой десорбции и фотоэлектронной эмиссии, инициированных СИ. Стенд изготовлен в соответствии с контрактом между ИЯФ и ЦЕРН с целью определения

характеристик аморфно-углеродного покрытия для вакуумной системы установки HL-LHC.

В 2017 году был подготовлен проект системы управления стендом на базе ПЛК (рис. 7.1.11), приобретены необходимые модули и начато их освоение.

7.1.4. Модернизация систем управления действующих установок и стендов.

Модернизирован стенд для измерения мультипольных компонент магнитных линз. Основная цель модернизации – заметное улучшение качества измерения углов:

- существенно понижена статистическая погрешность измерения угла основной гармоники поля в мультипольных линзах; достигнутая погрешность $2 \cdot 10^{-5}$;
- измерения выполняются для вращения в оба направления с тем, чтобы понизить систематическую погрешность измерения угла;
- в программу управления стендом добавлена возможность запуска python-скриптов, что позволило использовать различные, непредусмотренные программой алгоритмы обработки результатов;
- добавлена возможность понизить скорость вращения и для обработки используется два оборота в каждую сторону.

На комплексе ВЭПП-3 – ВЭПП-4 модернизируется система определения положения пучков в каналах перепуска, использующая новую версию цифровой телекамеры и блоков управления люминесцентными экранами. Изображение пучка формируется на люминесцентном экране, вводимом в канал с помощью специального соленоида и регистрируется телекамерой, подключенной по линии Ethernet. Для управления экраном (введение/выведение, форсаж соленоида, интенсивность подсветки) по той же линии Ethernet разработан подключаемый к камере дополнительный блок. Всего предполагается размещение вдоль каналов 14 точек регистрации.

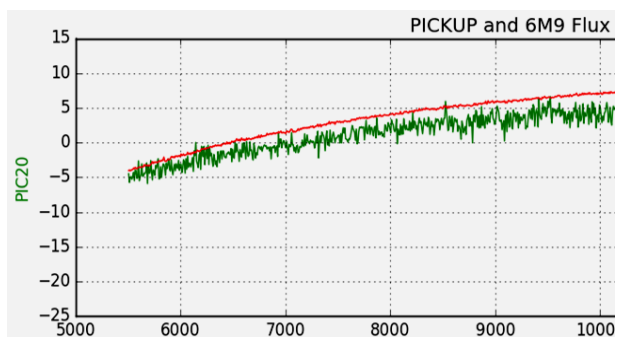


Рис.7.1.12. Координата пучка (в микрометрах) и поле в магните 6M9 (красный график) за 5000 секунд.

Проведены исследования нестабильности поля в импульсном магните 6M9 комплекса ВЭПП 2000 из-за проблем с перепуском частиц и модернизирован алгоритм управления источником питания магнита.

Как показали долговременные измерения, причиной нестабильности был большой дрейф ёмкости конденсаторной батареи вследствие её разогрева при длительной работе. Координата пучка на пикапе после 6M9 и магнитное поле в нём за 5000 секунд, демонстрирующие обнаруженные эффекты, показаны на рис.7.1.12.

Был предложен модернизированный алгоритм управления импульсным источником, когда дрейф поля, вызванный изменением ёмкости, компенсируется коррекцией зарядного напряжения на ёмкости. Результат работы модифицированного алгоритма в течение 5000 секунд показан на рис 7.1.13.

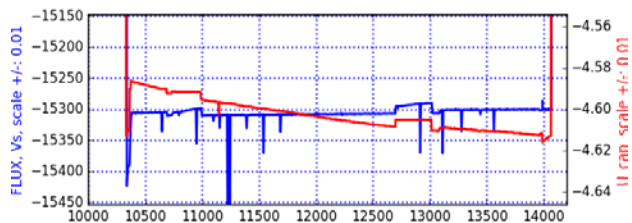


Рис 7.1.13. Напряжение на батарее (красный график), которое изменяется так, чтобы магнитное поле в 6M9 не менялось (синий график).

На установке БНЗТ для измерения токов утечки с электродов, разносящих высоковольтное напряжение («капюсты»), предложена весьма оригинальная схема (рис.7.1.14).

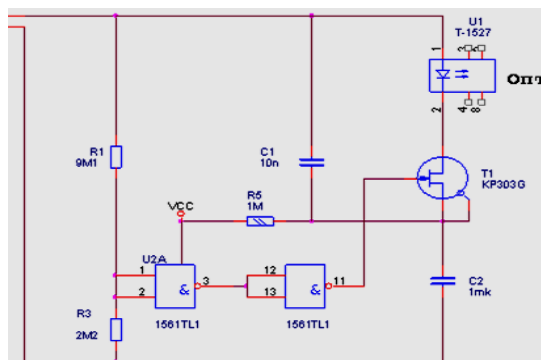


Рис.7.1.14. Схема измерения токов утечки, работающая без источника питания.

Схема запитывается от измеряемого тока и генерирует в оптический выход частоту, пропорциональную измеряемому току. Минимальный измеряемый ток – 1 мкА, максимальный 1 мА. Измеритель находится под потенциалом 1,2 МВ.

7.2. ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА КОЛЛАЙДЕРА NICA

Сооружаемый в ОИЯИ, (г. Дубна), ускорительный комплекс NICA предназначен для проведения экспериментов с ядрами $^{197}\text{Au}^{79+}$ на энергиях от 1 до 4,5 ГэВ/н. Комплекс представляет собой каскад ускорителей: инжекционный комплекс, новый сверхпроводящий синхротрон (бустер), существующий сверхпроводящий синхротрон (Нуклотрон), новый коллайдер, состоящий из двух сверхпроводящих колец. Высоко-частотная (ВЧ) система коллайдера должна обеспечить накопление пучков требуемой интенсивности, доускорение (при необходимости) накопленных пучков до энергии эксперимента, формирование сгустков с заданными параметрами. В каждом кольце коллайдера используются три типа ускоряющих станций – барьерные и гармонические (22-ой и 66-ой гармоник частоты обращения). Барьерные станции применяются для накопления частиц на энергиях от 1 до 4,5 ГэВ/н и для ускорения частиц в диапазоне энергий от 1 до 4,5 ГэВ/н. Гармонические ВЧ станции нужны для формирования сгустков. Станции 22-ой и 66-ой гармоник создают напряжение до 100 кВ / кольцо и 1 МВ / кольцо соответственно.

ИЯФ отвечает за разработку, изготовление и пусконаладку ВЧ станций коллайдера – 2-х барьерных, 8-ми станций 22-ой гармоник и 16-ти станций 66-ой гармоник.

7.2.1. Алгоритм работы ВЧ системы коллайдера.

Последовательно инжектируемые из Нуклотрона сгустки частиц накапливаются в коллайдере с помощью барьерной ВЧ системы (ВЧ1). При необходимости, ВЧ1 может доускорять частицы, если инжекция происходит на энергии меньшей, чем энергия эксперимента. После накопления достаточного числа частиц, барьерная ВЧ система выключается. Частицы равномерно заполняют весь периметр кольца. Включается гармоническая система ВЧ2 (работающая на частоте 22-ой гармоник частоты обращения), амплитуда которой адиабатически возрастает с начального значения близкого к 0. Формируются 22 сгустка. Процесс сопровождается охлаждением, либо электронным, либо стохастическим. Амплитуда ВЧ2 растёт до того момента, когда сгусток в состоянии «влезть» в сепаратрису 66-ой гармоник (ВЧ3). В этот момент происходит перехват сгустка из ВЧ2 в ВЧ3 (ВЧ2 и

ВЧ3 работают одновременно). В те моменты времени, когда та или иная система не используется, ускоряющие зазоры станций закорачиваются механическими замыкателями и сгусток заряженных частиц вместо высокоомного ускоряющего зазора «видит» почти «гладкую» вакуумную камеру. Перед включением гармонические станции (с замкнутыми зазорами) настраиваются на середину между 22/23 (ВЧ2) и 66/67 (ВЧ3) гармониками частоты обращения. Рабочий вакуум в резонаторах всех 3-х типов станций – не хуже 3·10⁻¹¹ торр.

7.2.2 Барьерная система ВЧ1.

В основе работы системы лежит метод барьерных ВЧ напряжений (rf stacking). Станция ВЧ1 представляет собой индукционный ускоритель. Ускоритель состоит из набора секций, надетых снаружи на вакуумную камеру (круглую трубу внутренним диаметром 100 мм), в разрыв которой впаян цилиндрический керамический изолятор. Разрыв вакуумной камеры образует ускоряющий зазор. Каждая секция выполнена на основе кольца из аморфного железа 84ХВ-М. Кольцо охвачено петлями связи, к которым присоединяются формирователи импульсов, выполненные на ключевых транзисторных сборках DRF1400 фирмы Microsemi. Кольцо клеивается между двух медных дисков (для отвода выделяющейся в кольце мощности). На внешнем диаметре диски охлаждаются водой. На Рис. 7.2.1 показан прототип секции барьерной станции ВЧ1. На Рис. 7.2.2 приведена 3D-модель станции ВЧ1.

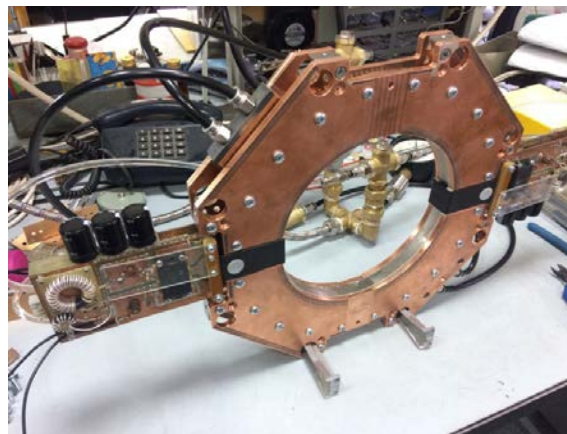


Рис. 7.2.1. Прототип секции барьерной станции ВЧ1.

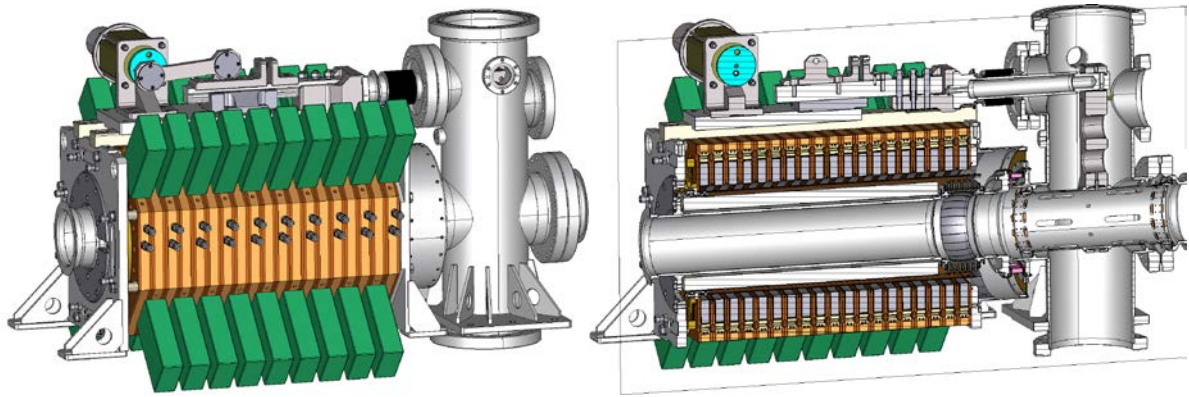


Рис. 7.2.2. 3D-модель барьерной станции (ВЧ1).

На ускоряющем зазоре станции создается периодическая последовательность ускоряющих и тормозящих импульсов напряжений (барьеров) амплитудой 5 кВ. Барьеры задают зоны накопления и инжекции. После очередной инжекции из Нуклотрона, соответствующим образом манипулируя барьерами, новая порция частиц добавляется к уже накопленным. При необходимости доускорения накопленных частиц станция ВЧ1 генерирует ускоряющее напряжение – меандр $\pm(270\dots330)$ В, при этом барьеры устанавливаются так, чтобы накопленные частицы занимали не больше половины периметра коллайдера.

В 2017 году были успешно завершены исследования прототипов основных элементов станции ВЧ1, включая ресурсные испытания (105 циклов) короткозамыкателя ускоряющего зазора (конструкция корот-

козамыкателей всех 3-х типов станций аналогична), в основном, закончено конструирование, заказы сданы в производство.

7.2.3. Система 22-ой гармоники (ВЧ2).

Станция ВЧ2 построена на основе вакуумного коаксиального резонатора, укороченного емкостью. Напряжение на ускоряющем зазоре – до 25 кВ. Резонансная частота резонатора перестраивается (в зависимости от энергии эксперимента 1...4,5 ГэВ/п) в пределах 11,484...12,91 МГц четырьмя емкостными тонерами. Эскиз и 3D-модель резонатора представлены на Рис. 7.2.3 и 7.2.4.

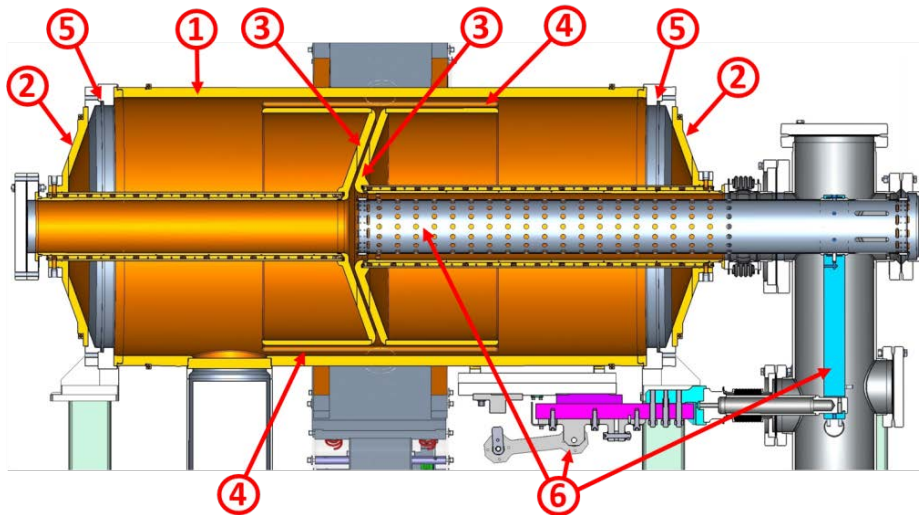


Рис. 7.2.3. Эскиз резонатора станции 22-ой гармоники (ВЧ2): 1 – обечайка, 2 – конические боковые стенки, 3 – центральные электроды, 4 – пластины тонеров, 5 – металлические вакуумные уплотнения НТМС, 6 – механизм замыкания зазора.

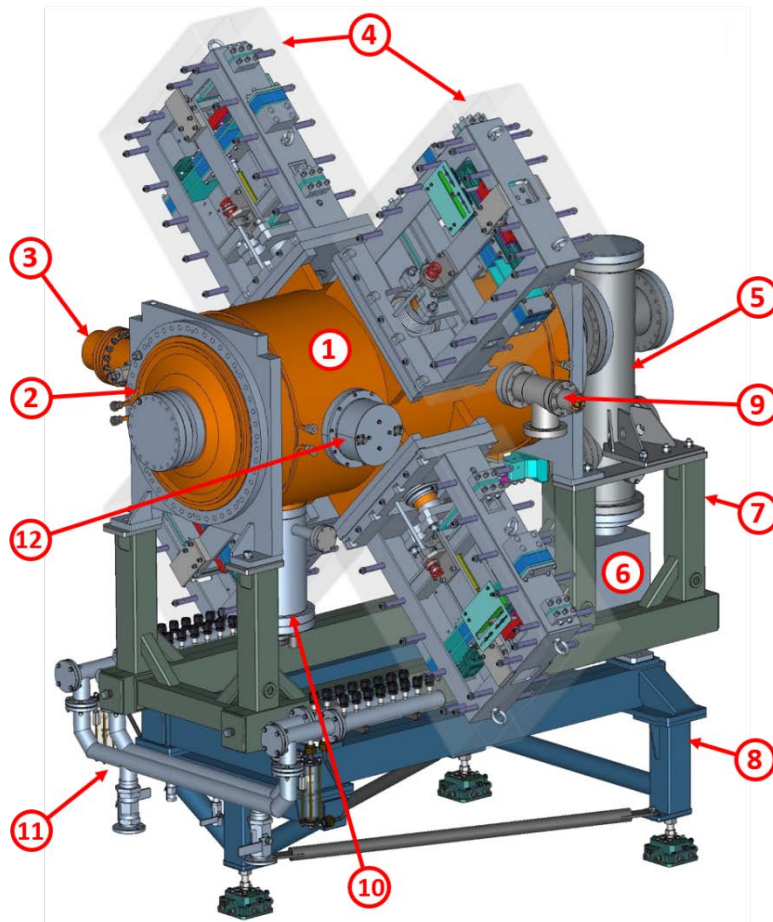


Рис. 7.2.4. 3D-модель резонатора станции 22-ой гармоники (ВЧ2): 1 – обечайка, 2 – конические боковые стенки, 3 – ввод мощности, 4 – механизмы перемещения тюнеров, 5 – механизм замыкания ускоряющего зазора, 6 – комбинированный ионно-геттерный насос, 7 – нерегулируемая подставка, 8 – регулируемая подставка, 9 – угловой цельнометаллический вентиль DN63CF, 10 – сублимационный титановый насос, 11 – напорный и сливной коллекторы системы водяного охлаждения, 12 – измерительная петля резонатора.

В 2017 году были успешно завершены исследования прототипов тюнеров, в основном, закончено конструирование, заказы сданы в производство.

7.2.4. Система 66-ой гармоники (ВЧ3).

Резонаторы станций ВЧ3 конструктивно аналогичны резонаторам ВЧ2. Напряжение на ускоряющем зазоре – до 125 кВ. Резонансная частота резонатора перестраивается (в зависимости от энергии эксперимента) в пределах 34,452...38,742 МГц.

Возбуждение резонаторов ВЧ2 и ВЧ3 – от транзисторных усилителей выходной мощностью до 7 и 40 кВт соответственно. Усилители будут изготавливаться ООО «Триада-ТВ». Технические требования на усилители согласованы, размещены заказы на пилотные экземпляры усилителей для ВЧ2 и ВЧ3

7.3. НОВАЯ ВЧ СИСТЕМА НАКОПИТЕЛЯ-ОХЛАДИТЕЛЯ ИНЖЕКЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

Инжекционный комплекс ВЭПП-5 служит для обеспечения коллайдеров ИЯФ высокоинтенсивными сгустками электронов и позитронов. Основные потери частиц происходили при инъекции из линейного ускорителя (ЛУ) в накопитель-охладитель (НО). Это было связано с большой длиной пучка на выходе ЛУ и малой длиной сепаратрисы старой ВЧ системы НО на 700 МГц – терялось до 70% частиц. Поэтому в 2015 году было принято решение об установке в кольцо НО ускоряющего резонатора на первую гармонику частоты обращения 10,9375 МГц. Основные параметры новой ВЧ системы приведены в Таблице 7.3.1.

Ускоряющий резонатор состоит из двух четвертьволновых отрезков коаксиальной линии с общим зазором. В зазор вварен керамический изоляторный узел с сильфоном (см. рис. 7.3.1).

Ферритовый резонатор 11МГц для НО ВЭП-5

Требования:

Напряжение на зазоре $U=10\text{кВ}$
Ток пучка $I_p=100\text{мА}$,

Расчётные параметры:

Добротность $Q=50$
Шунтовое сопротивление $R_{ш}=10\text{кОм}$

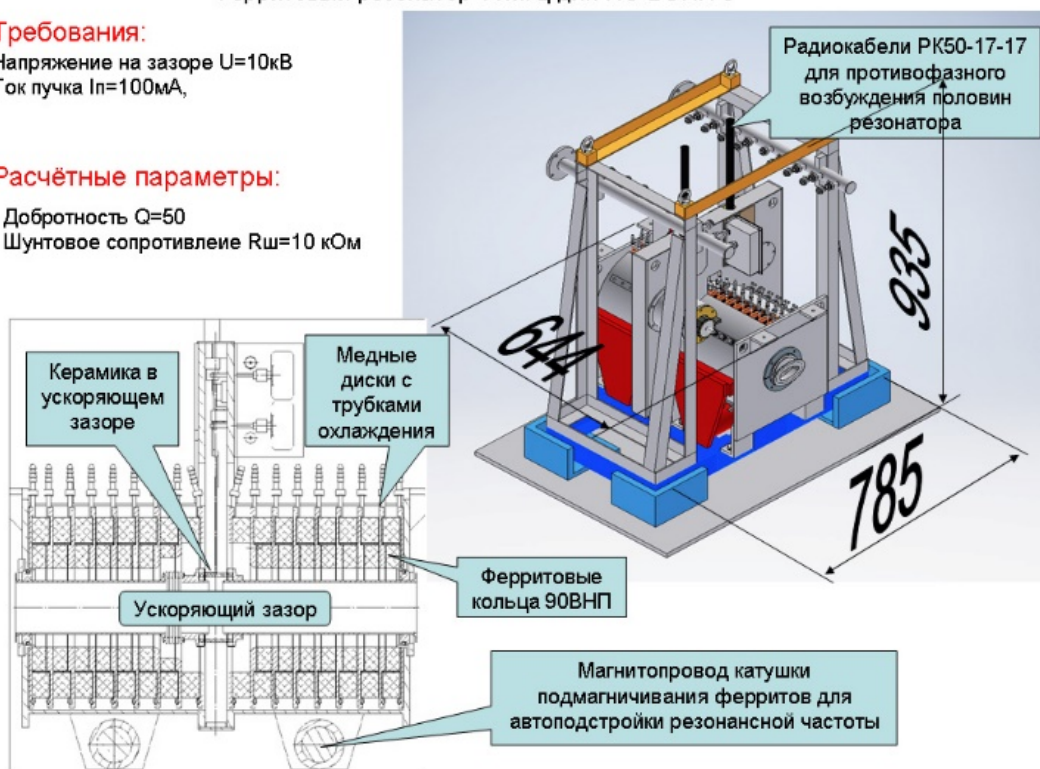


Рис. 7.3.1 Эскиз нового резонатора накопителя-охладителя.

Таблица 7.3.1. Основные параметры новой ВЧ системы НО.

Рабочая частота	10,9375 МГц
Добротность резонатора	80
Шунтовое сопротивление	16 кОм
Рабочее напряжение на зазоре резонатора	$\leq 9,5\text{ кВ}$
Мощность потерь в резонаторе	$\leq 2,5\text{ кВт}$
Энергия частиц	$\leq 510\text{ МэВ}$
Потери на оборот	5,3 кВ
Ток пучка	100 мА
Максимальная выходная мощность усилителя	2 x 3,7 кВт
Охлаждение усилителя	Водяное
Режим работы	Непрерывный

Для уменьшения геометрических размеров объём между проводниками коаксиальной линии заполнен ферритом М90ВНП производства ОАО «ФЕРРОПРИБОР», г. Санкт-Петербург. Используются ферритовые кольца $\varnothing 250 \times 180 \times 25\text{ мм}$ и $\varnothing 174 \times 110 \times 20\text{ мм}$ (меньшее кольцо вставлено в большее). Кольца вклеены между теплоотводящих медных дисков, к которым по периметру припаяна трубка водяного охлаждения. В каждой половинке резонатора используется клееный пакет из 8-ми ферритовых секций.

Для настройки резонансной частоты рабочей моды и симметрирования напряжений на половинках резонатора используются два вакуумных переменных конденсатора КП1-4 5...100 пФ (C_1 , C_2 на рис. 7.3.2), подключенные к ускоряющему зазору. Нестабильности собственной частоты резонатора, связанной, в основном, с изменением температуры ферритов, компенсируются их подмагничиванием. Для подмагничивания используются 2 электромагнита с независимым регулированием токов в их обмотках. Это позволяет поддерживать одинаковые напряжения на половинках резонатора (состоящем из 2-х колебательных контуров, слабо связанных через ёмкость ускоряющего зазора с керамикой $C_5 = 8\text{ пФ}$). Регулирование и стабилизация ускоряющего напряжения выполняются цепью обратной связи по сумме протектированных напряжений на половинках резонатора.

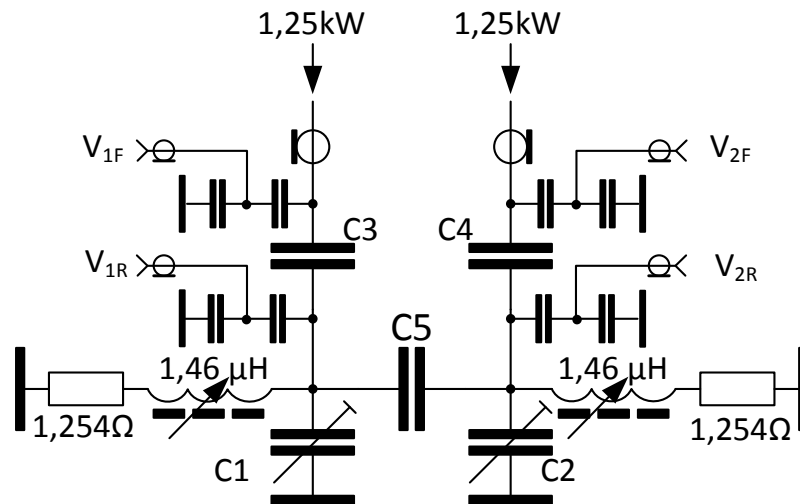


Рис. 7.3.2. Эквивалентная схема нового резонатора накопителя-охладителя: $C1 = C2 = 82$ пФ. $C3 = C4 = 22$ пФ. $C5 = 8$ пФ.

Резонатор возбуждается от транзисторного усилителя производства ООО «Триада-ТВ» через два ввода мощности противофазными напряжениями через емкости связи $C3$, $C4$. Усилитель представляет собой два блока (4U в стандарте 19"), расположенных в одной стойке и содержащих по 4 усилительные ячейки на транзисторах BLF188.

Резонатор и генератор были изготовлены, испытаны и в августе 2017 году установлены в НО (см. рис. 7.3.3).

Энергия инъекции частиц в НО сравнительно низкая, а радиационное затухание довольно мало – время

затухания синхротронных колебаний ~ 50 мс. Это приводило к тому, что возникающие когерентные дипольные синхротронные колебания сгустка на частоте 3,3 кГц препятствовали дальнейшему накоплению частиц. Для подавления этих неустойчивостей была введена цепь обратной связи (ОС), которая работает следующим образом. С помощью полосового фильтра из напряжения, наведенного пучком на пикапе, выделяется первая гармоника. Фазометром измеряется фаза этого напряжения первой гармоники относительно опорного напряжения частоты обращения.



Рис. 7.3.3 Резонатор (слева) и усилитель (справа на переднем плане) новой ВЧ системы накопителя-охладителя.

Переменная составляющая с выхода фазометра, после соответствующей фазовой коррекции, подается на электронный фазовращатель в тракте усилителя мощности. После введения этой ОС время затухания фазовых колебаний сгустка уменьшалось до единиц миллисекунд и неустойчивостей фазового движения пучка больше не наблюдалось.

7.4. НОВАЯ ВЧ ПУШКА ДЛЯ НОВОСИБИРСКОГО ЛСЭ

В 2018 году в инжекторе новосибирского ЛСЭ планируется заменить существующую статическую пушку на высокочастотную (ВЧ) с катодно-сеточным узлом, способную генерировать сгустки с частотой повторения до 90 МГц и средним током до 100 мА, что позволит на порядок поднять мощность ЛСЭ.

Рассматриваются два варианта такой замены. В первом варианте ВЧ пушка устанавливается на место существующего группирующего резонатора, после пушки формируется дрейфовый промежуток оптимальной длины для группировки сгустков. Второй вариант предусматривает возможность выбора между статической и ВЧ пушками с помощью оперативного переключения магнитов. Для этого ВЧ пушка размещается вертикально над существующим каналом между группирующим резонатором и ускоряющей секцией инжектора. Пучок из ВЧ пушки направляется вертикально вниз, проходит ахроматический поворот на 90° и попадает в ускоряющую секцию. Этот вариант (с поворотом на 90°) планируется предварительно исследовать на стенде в 2018 году.

В 2017 году продолжались работы с ВЧ пушкой на диагностическом стенде (рис. 7.4.1) с прямолинейным каналом. На стенде исследовались эффекты: плазменных колебаний в катодно-сеточном промежутке (явно проявившийся при измерении длительности сгустков методом возбуждения пучком высших мод пробного резонатора), естественной продольной группировки сгустков без применения группирующего резонатора, компенсации случайного фазового джиттера запускающих импульсов; изучалось применение сильной прикатодной ВЧ электрической фокусировки для минимизации поперечного эмиттанта сгустков и темновых токов в пучке и оптимальной соленоидной фокусировки пучка, обеспечивающей эффект компенсации роста эмиттанта. В течение всех испытаний ВЧ пушка показала надежную и стабильную работу с током 100 мА.

7.5. МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСА ВЭПП-4М

В 2017 году была произведена модернизация высокочастотной (ВЧ) системы комплекса ВЭПП-4М. Модернизация ВЧ системы проводилась с целью повышения мощности ВЧ генератора, питающего ускоряющие резонаторы комплекса. Это позволит увеличить энергию и ток циркулирующих электронных и позитронных пучков.

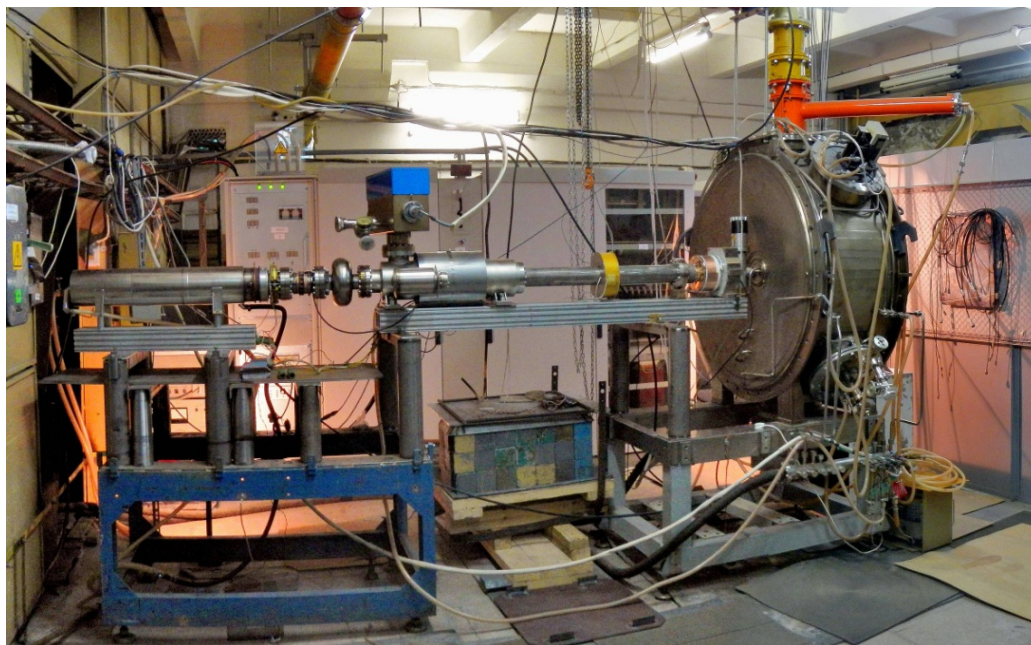


Рис. 7.4.1. Диагностический стенд ВЧ пушки ЛСЭ.

ВЧ генератор ВЭПП-4М работает на частоте 180 МГц в непрерывном режиме и включает в себя несколько каскадов. Предварительные каскады усиления выполнены на триодах ГИ-50 и тетроде ГУ-92А. Далее сигнал усиливается двухмодульным каскадом, выполненным на мощных отечественных тетродах ГУ-101А. С выхода двухмодульного каскада мощность по прямоугольному транспортному волноводу передавалась ВЧ резонаторам.



Рис. 7.5.1. Выходной четырёхмодульный каскад ВЧ генератора ВЭПП-4М .

Для повышения выходной мощности генератора был задействован ранее неиспользовавшийся четырехмодульный каскад, также выполненный на тетродах ГУ-101А (рис.7.5.1). Было произведено переключение элементов волноводного тракта таким образом, чтобы четырехмодульный каскад возбуждался через плоский ТЕМ волновод, распределяющий ВЧ сигнал с выхода двухмодульного каскада по входным контурам четырехмодульного каскада. Выходные анодные контуры всех модулей выходного каскада объединены общей линией, с выхода которой мощность поступает в транспортный волновод. Выходной четырехмодульный каскад рассчитан на получение максимальной выходной мощности генератора до 400 кВт в непрерывном режиме. Это позволяет комплексу работать на энергии 4,7 ГэВ и токе до 100 мА. В настоящее время работа комплекса ВЭПП-4М ведется на энергиях до 4,5 ГэВ и токах до 40 мА.

8

МОЩНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ
УСКОРИТЕЛИ

8.1. УСКОРИТЕЛИ ТИПА ИЛУ

8.1.1. Поставки ускорителей типа ИЛУ.

Начиная с 1983 года, ускорители типа ИЛУ поставляются в промышленность, где они используются для исследовательских работ и для работы в составе промышленных технологических линий. Некоторые из этих машин загружены работой 2-3 смены в сутки на протяжении многих лет и успешно выдерживают подобную нагрузку. Надежность работы ускорителей и их технический уровень подтверждаются новыми поставками оборудования.

В 2017 году был осуществлен физический пуск ускорителя ИЛУ-10 в Институте ядерной физики, г. Алма-Ата, Казахстан. В 2018 году планируется вывод ускорителя на контрактные параметры.

В 2017 году был запущен в работу и сдан в эксплуатацию ускоритель ИЛУ-10 в Биомедицинском производственно-технологическом центре университета КИТЕС, город Йончон, республика Корея, см. Рис. 8.1.1 и 8.1.2.

Сдан в эксплуатацию второй ускоритель ИЛУ-8 на заводе “Чувашкабель”.

Опыт эксплуатации первого ускорителя ИЛУ-8 на этом заводе оказался успешным, и руководство предприятия приняло решение приобрести второй ускоритель.



Рис. 8.1.2. Выпускное устройство ускорителя ИЛУ-10 в Биомедицинском производственно-технологическом центре компании КИТЕС, Республика Корея.



Рис. 8.1.1. Зона загрузки конвейера и пультовая (на втором этаже) Биомедицинского производственно-технологического центра компании КИТЕС с ускорителя ИЛУ-10 в городе Йончон, Республика Корея.



Рис. 8.1.3. Новое перематывающее устройство под выпускным окном ускорителя ИЛУ-8 в компании “Гамма сервис”, г. Ивантеевка.

На этой установке впервые применено новое подпучковое перематывающее устройство для 4-х стороннего облучения проводов с диаметром до 5 мм. Была получена скорость облучения 300 м/мин при мощности пучка ускорителя только 20 кВт.

Произведен монтаж ускорителя ИЛУ-8 в компании ОКБ “Гамма” в г. Ивантеевка Московской области. Этот ускоритель будет использоваться для радиационной сшивки тепловыделяющих проводов. В 2018 году этот ускоритель начнет работу. Это новый рынок использования ускорителей.

Развитие ускорителей ИЛУ продолжается, совершенствуются их системы питания и управления, а также вспомогательное оборудование.

8.1.2. Разработка проекта новой системы выпуска электронного пучка для ускорителя ИЛУ-10.

При разработке систем транспортировки пучка заряженных частиц остро стоит вопрос организации поворотов пучка, особенно если пучок немонохроматичен по энергии.

Для получения пучка на выходе с параметрами, близкими к входным характеристикам, авторами

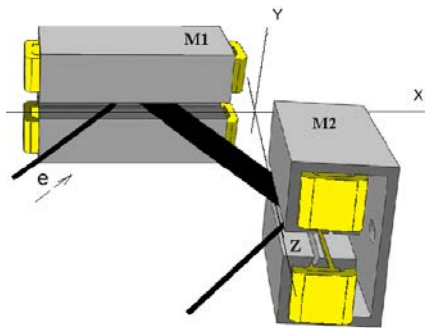


Рис. 8.1.4. Общий вид магнитных зеркал и график распределения поля по глубине магнита (расчетные значения для разных зазоров).

предложено использовать такую форму распределения магнитного поля по глубине магнита, которая компенсирует дефокусировку на входном участке зеркала. На Рис.8.1.4 приведен общий вид магнитных зеркал и распределение индукции магнитного поля в них по глубине для разных величин зазоров между полюсами зеркала.

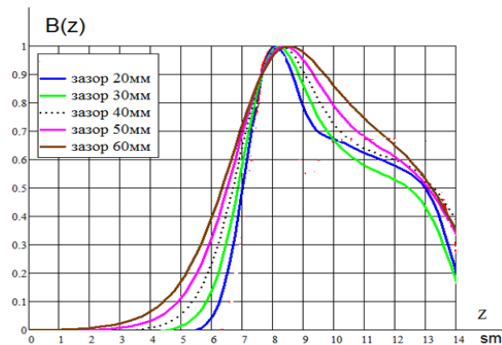
Расчет траекторий был произведен для произвольно заданной 50% немонохроматичности пучка (разброс энергий электронов от 1,25 до 2,5 МэВ), заведомо превышающей ширину энергетического спектра пучка ускорителя ИЛУ-7 на котором будет проверяться работа системы выпуска пучка. Трассировалось 1000 траекторий, магниты М1 и М2 принимались одинаковыми с выбранным распределением $B(z)$ для М1 и $B(x)$ для М2 соответственно. Входной диаметр пучка составил 1,5 см, пучок имел гауссово распределение по плотности и нулевые углы входа в зеркало.

Максимальное значение индукции в зазоре было принято равным 0,09 Тл.

На Рис. 8.1.5 приведены основные расчетные траектории электронов в зеркале М1. В верхней части рисунка показаны проекции трех траекторий поворота монохроматичных пучков электронов с разными энергиями на плоскость xz , в нижней части приведены картины траекторий электронов в немонохроматичном пучке с энергетическим разбросом от 1,25 до 2,5 МэВ.

8.1.3. Облучательный центр ИЯФ-НГУ.

Стабильно работает совместный облучательный центр ИЯФа и НГУ. Основа центра – ускоритель ИЛУ-10 размещенный в здании №16 ИЯФа. В 2017 году обработано 370 тонн медицинских изделий и биологически активных добавок.



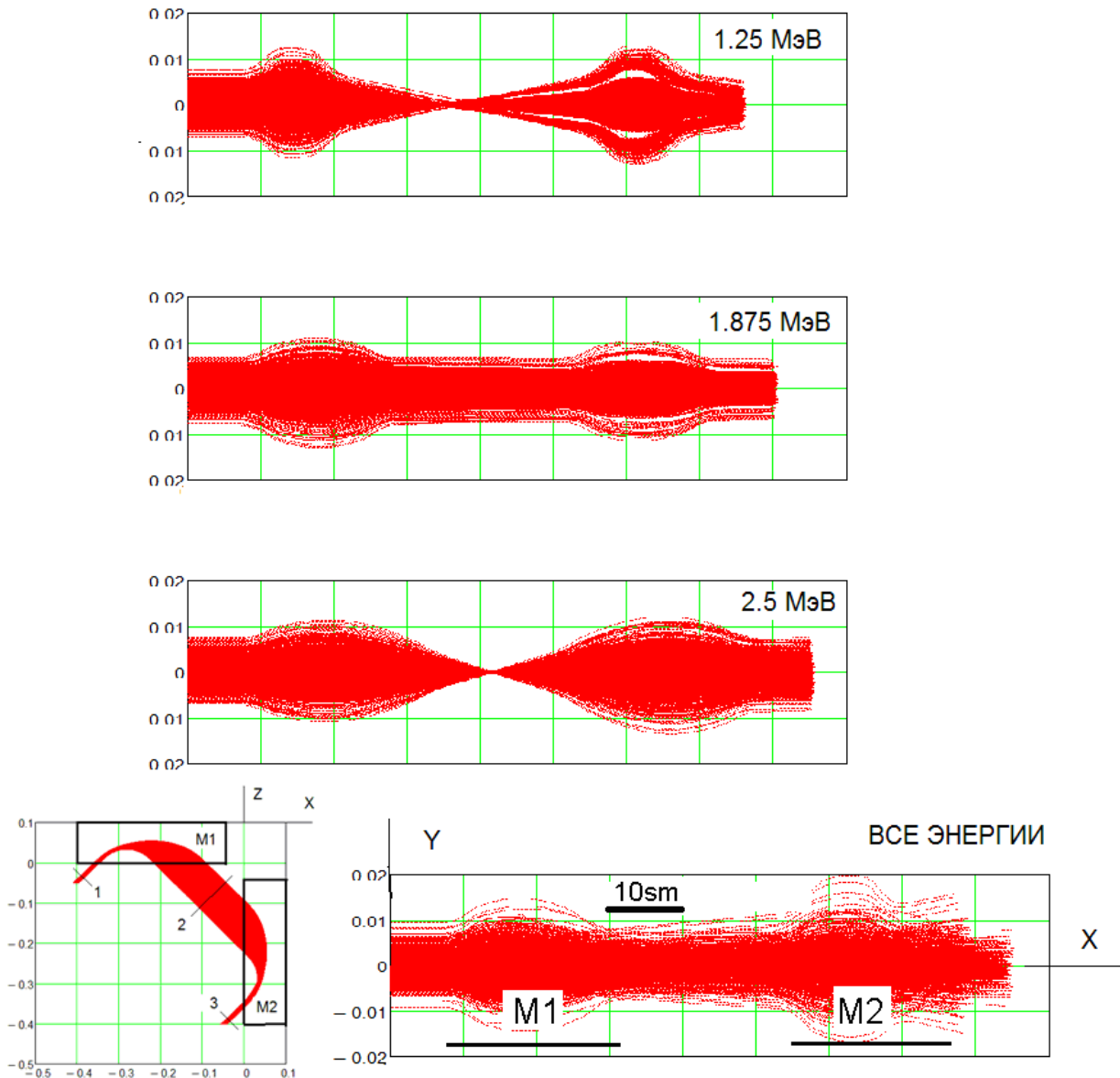


Рис. 8.1.5. Развертки в плоскостях xz и xy монохроматических пучков с энергиями 1,25, 1,875 и 2,5 МэВ и ахроматического пучка.

8.1.4. Разработка новых радиационных технологий.

Совместно с Институтом горного дела СО РАН проводились исследования по радиационной обработке измельчённых руд.

В переработке минерального сырья процесс предварительной его подготовки, включающий измельчение и вскрытие тонковкрапленных минеральных комплексов, имеет первостепенное значение для достижения максимально высокого извлечения металлов. Стоимость операций по дезинтеграции и раскрытию минеральных сростков, как правило, значительно превышает стоимость последующих гравитационных, флотационных и других обогатительных процессов.

Облучение большинства рудных образцов приводит к уменьшению энергозатрат на последующее измельчение, повышению раскрываемости руды и повышению выхода соединений цветных металлов.

Цель работы – определение оптимальных рабочих доз для минимизации энергозатрат на размельчение сырья и повышения его раскрываемости (извлекаемости полезных компонентов руд).

Продолжены работы по исследованию влияния облучения на полезные свойства ингредиентов комбикормов в процессе их деконтаминации.

Проводились работы по радиационной обработке пищевого сырья и продуктов для предотвращения их порчи и продления срока хранения.

Совместно с Всероссийским научноисследовательским институтом радиологии и аэроэкологии,

г. Обнинск Калужской области, проводились эксперименты по облучению различных пищевых продуктов. После радиационной обработки рыбных пресервов на электронном ускорителе положительный антибактериальный эффект достигается для дрожжей при всех дозах и мощностях доз, а микробная обсемененность снижается до нормативных величин при дозах выше 1,55 кГр. При этом срок хранения пресервов увеличился в 4 раза при дозе от 3 кГр. Картофель при дозе от 120 Гр. полностью потерял способность прорасти, что повышает степень сохранности картофеля до следующего урожая. Ухудшение питательных свойств картофеля после облучения не наблюдалось.

На ускорителе ИЛУ-10 совместно с представителями компании AVI Product проводились эксперименты по радиационной пастеризации продуктов питания. Целью исследования являлось определение влияния различных доз на органолептические свойства образцов. Около 150 кг колбасных изделий, замороженных пельменей и готовых мясных продуктов обрабатывались электронами и тормозным излучением дозами от 0,5 до 5 кГр. По итогам предварительных экспериментов было определено, что доза 1 кГр является верхней границей, при которой не отмечались изменения органолептических свойств изделий. Основная масса продуктов была обработана выбранной дозой и заложена на длительное хранение. Результаты проверки качества и надежности холодной пастеризации ожидаются после завершения исследований по результатам контрольных измерений параметров.

Возможности процессов электронно-лучевой обработки тяжёлых углеводородных соединений и различных полимерных материалов изучались совместно с Институтом химии твёрдого тела СО РАН.

Совместно с Институтом химии твёрдого тела проводились исследования процессов радиационно-индуцированной полимеризации. Были получены сверхвысокомолекулярные полимеры на основе метилметакрилата (СВМ ПММА – сверхмолекулярный полиметилметакрилат) и его производных с молекулярной массой до $MM=5 \cdot 10^6$ с высокими прочностными характеристиками.

Достоинства материалов:

твердость по Бринеллю 40 НВ, что выше, чем у алюминия (15 НВ);

пределы прочности и текучести также выше, чем у алюминия;

повышенная химическая стойкость;

высокая однородность свойств по объёму;

отсутствие примесей химических инициализаторов и ингибиторов гарантирует стабильность свойств материала.

Радиационная стойкость полученных образцов превышает в 10 000 раз стойкость доступных на рынке СВМ ПММА.

При измерении скорости скорости травления после облучения зафиксировано, что она в 10000 раз меньше чем у обычного ПММА.

Сверхвысокомолекулярный и просто ПММА используется для LIGA-технологии. На Рис. 8.1.6 и 8.1.7 показаны элементы прецизионной механики и эмблема ИЯФа изготовленные этим методом.

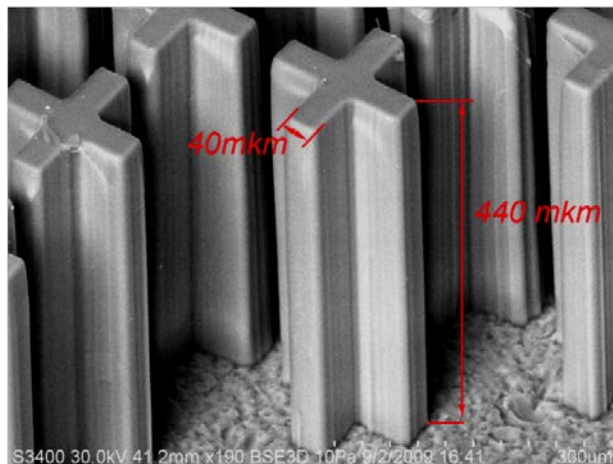


Рис.8.1.6. Элементы прецизионной механики изготовленные из СВМ ПММА методом LIGA-технологии.

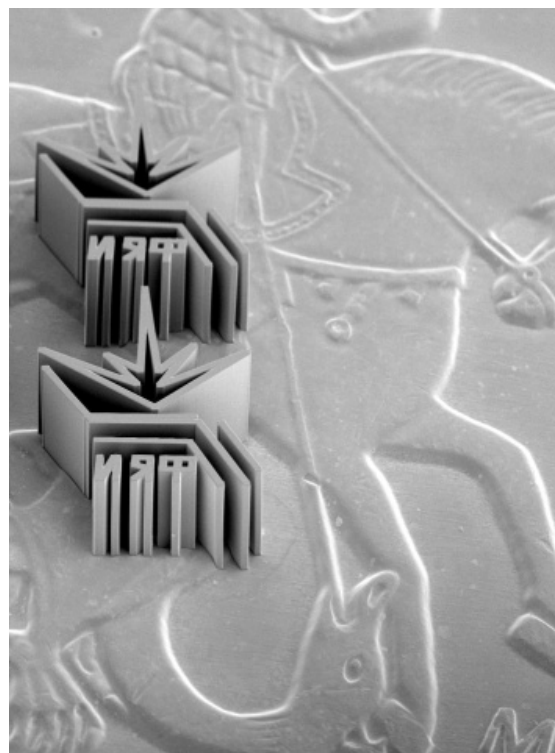


Рис. 8.1.7. Логотип ИЯФ СО РАН, нанесенный методом LIGA-технологии на копеечную монету с использованием СВМ ПММА.

Потенциальные области применения:
изготовление прецизионной механики;
оптические элементы с повышенной прочностью для глубоководных аппаратов и гиперзвуковых самолетов, в том числе иллюминаторов;
изоляция проводов в криогенных устройствах.

На основе этих полимеров получены композиционные материалы полимер/наночастицы обладающие высокой теплопроводностью при гелиевых температурах для использования в сверхпроводящих устройствах

Разработано изоляционное покрытие для сверхпроводящего провода с содержанием наполнителя 1%, в качестве наполнителя выбран нитрид бора с размером зерна 70 нанометров. Обычно для этого используется эпоксидный компаунд с 60% содержанием оксида алюминия с зерном 10 микрон для обеспечения теплопроводности и минимизации термических уходов размеров.

Новое изоляционное покрытие предназначенного для катушек сверхпроводящих электромагнитов вигглеров.

Совместно с Институтом химии твёрдого тела разработан термо- и фотохромный прозрачный композит на основе полиметилметакрилата с добавлением нанопорошка вольфрама.

Совместно с Институтом химии твёрдого тела были изготовлены так называемые фантомы – изделия, моделирующие биологическую ткань для изучения влияния облучения. Для изготовления фантомов была использована смесь издецилметакрилата и бензилметакрилата с добавлением нанопорошка нитрида бора. Полимеризация смеси осуществлялась под действием электронного пучка. Фантомы предназначены для ведущихся в ИЯФе исследовательских работ по бор-нейтрон захватной терапии.

Совместно с Институтом химии твёрдого тела проводятся исследования по влиянию радиационной обработки на различные материалы.

Проведено исследование радиационной стойкости стеклопластиковых и углепластиковых материалов, определены предельные дозы после которых происходила потеря прочности.

Совместно с Томским политехническим университетом проведены исследования процессов радиационно-термического синтеза ферритовых соединений и исследования их структуры.

8.2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ СЕРИИ ЭЛВ И ИХ НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

8.2.1. Поставки ускорителей.

В 2017 году произведена поставка 6 ускорителей и модернизация одной ранее поставленной машины.

Следует выделить поставку 2 ускорителей на завод «Электрокабель» г. Кольчугино. Здесь мы оказались в несвойственном нам ранее статусе генерального подрядчика. Конечно, это налагает дополнительные хлопоты, но очень уж привлекательный проект. Используя наши ресурсы и связи мы решили организовать лучший в России участок электронно-лучевой модификации кабельной изоляции. Участок должен иметь максимально широкий диапазон номенклатуры обрабатываемых проводов и обеспечивать максимальную производительность. Для этой цели поставлены два ускорителя: ЭЛВ-4 и ЭЛВ-8. Каждый из ускорителей оборудован системой 4-х стороннего облучения. Набор технологического и подпучкового оборудования изготовлен китайской компанией «Shanxi Yiruidi Electrical Technology Co. LTD.». Помимо ускорителей комплекс включает:

- для ускорителя ЭЛВ-4 - подпучковая транспортная система для кабельных изделий в диапазоне сечений 0,3 - 25 мм² в одножильном исполнении или в много-жильном с наружным диаметром до 15 мм – 2 шт.; сдвоенное активное приёмное устройство для барабанов с диаметром 500 - 1250 мм – 2 шт.; сдвоенное активное отдающее устройство для барабанов с диаметром 500 - 1250 мм – 2 шт.; сдвоенный вертикальный многоручьевой компенсатор-накопитель после отдающих и перед приемными устройствами с диаметром роликов 500 - 1250 мм – 2 шт;

- для ускорителя ЭЛВ-8 - подпучковая транспортная система для кабельных изделий в диапазоне сечений 0,3 - 25 мм² в одножильном исполнении или в много-жильном с наружным диаметром до 15 мм (такая же как и для ЭЛВ-4) – 1 шт; подпучковая транспортная система для кабельных изделий в диапазоне сечений 25 - 300 мм² в одножильном исполнении или в много-жильном с диаметром до 40 мм – 2шт.; система протяжки кабеля для многожильных кабелей с наружным диаметром до 55 мм – 1шт.; сдвоенные активные приёмные устройства для барабанов с диаметром 500 -1250 мм – 2 шт. - одинарное активное приемное устройство на рельсах для барабанов с диаметром 1600-2500 мм – 1 шт.; сдвоенное активное отдающее устройство для барабанов с диаметром 500 - 1250 мм – 2 шт.; одинарное активное отдающее устройство на рельсах для барабанов с диаметром 1600-2500 мм – 1 шт.; сдвоенный вертикальный многоручьевой компенсатор-накопитель после отдающих и перед приемными устройствами с диаметром роли-

ков 500 -1250 мм – 2 шт; тяговое устройство перед приемником для барабанов с диаметром 1600-2500 мм. - 1 шт.

Таким образом на ускорителе ЭЛВ-4 можно одновременно облучать 2 провода с вышеуказанными сечениями при максимальной скорости до 400 м/мин каждый. На ускорителе ЭЛВ-8 можно облучать как 2 провода того же типоразмера что и ЭЛВ-4, так и 1 провод большего сечения. Смена барабанов произво-

дится без остановки линии. Заметим, что в Китае существуют более специализированные по номенклатуре (имеющие меньший диапазон сечений) обрабатываемых проводов установки с ускорителем ЭЛВ-4, позволяющие облучать одновременно 4 провода (4 in – 4 out) с максимальной скоростью до 500 м/мин, т.е. суммарная производительность до 2000 м/мин. Запуск комплекса на ЭКЗ в Кольчугино планируется в первой половине 2018 года.

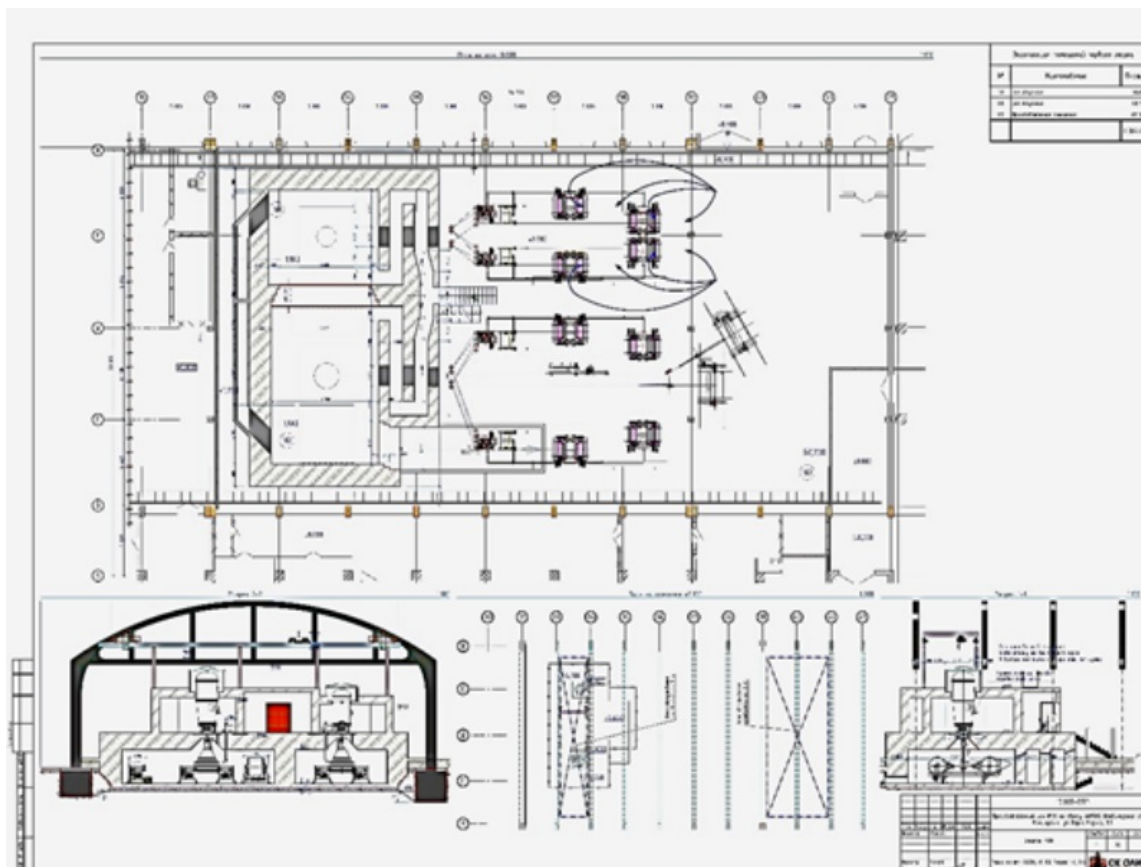


Рис. 8.2.1 Планировка участка радиационной модификации на заводе «Электрокабель» г. Кольчугино.

8.2.2. Изменения в элементной базе.

В рамках усовершенствования ускорителей ЭЛВ окончательно проверена, в том числе и в заводских условиях, работоспособность новых катушек вторичной обмотки. Эти обмотки содержат 2000 витков в отличие от старых, в которых число витков было 3000. Внешние габариты оставлены прежними, поэтому они могут использоваться в любых версиях ускорителей ЭЛВ. Рабочая частота машины при этом повышается до уровня 700 -800 Гц. По результатам испытаний принято решение, что новые катушки будут использоваться во всех ускорителях с энергией до 1,5 МэВ. Срок службы ускорителя составляет десятки лет, поэтому в настоящее время большое количество ускорителей старой модификации находятся в эксплуатации. Все они работают с катушками по 3000

витков. Для ускорителей с энергией выше 1,5 МэВ, т.е. ЭЛВ-8 и для обеспечения сервисного обслуживания старых машин в нашем производстве изготавливаются оба типа катушек.

8.2.3. Модифицированное устройство для вывода в атмосферу сфокусированного пучка электронов.

В 2016 Институт подписал контракт на поставку нескольких ускорителей серии ЭЛВ, оснащенных устройством для вывода в атмосферу сфокусированного пучка (ВУ). Ускоритель электронов, работающий с ВУ в 17 корпусе, в принципе, мог бы удовлетворять условиям контракта однако его ускорительная трубка имеет в канале ускорения магнит-

ные линзы. Эти линзы крепятся на электродах сложной конфигурации, замороженных в керамику. Эта технология давно утеряна, поскольку в ускорителях ЭЛВ уже более 25 лет используются более простые в изготовлении ускорительные трубки. Апертура этих трубок 100 мм и пучок движется практически все время в однородном электрическом поле, а его параметры на выходе трубки: диаметр D и расходимость α определяются только распределением электрического поля вблизи катода. Для оптимального согласования пучка из трубки с диафрагмами ВУ нужно знать D и α , а также величину эммитанса. Для этого на ускорителе ЭЛВ-4 в 16 корпусе была собрана установка, которая позволяла измерить D и α и оценить величину эммитанса пучка. По этим измерениям было спроектировано и изготовлено ВУ, которое можно поставить на ускоритель ЭЛВ, имеющий трубку с большой апертурой, и вывести сфокусированный пучок в атмосферу.

Форвакуумные и турбомолекулярный насосы на стенде корпуса 16 отсутствуют. Поэтому пучок выпускался из ВУ в специальную вакуумную мишень с круговой разверткой пучка.

Режим охлаждения позволял принимать на эту мишень электронный пучок с мощностью не более 50 кВт. За несколько дней система была настроена и через расчетные диафрагмы пучок прошел практически без оседания при мощности 50 кВт на энергии 1,5 МэВ. Это было в августе 2017. Контракт, о котором говорилось ранее, был подписан и оставался в силе, хотя поставка ускорителей отодвигалась на неопределенное время. Чтобы проделанная работа не пропадала, было решено поставить это выпускное устройство на ускоритель ЭЛВ-6, расположенный в здании ИЯФ СО РАН, который был укомплектован выпускным устройством старого типа. На этом стенде уже имелись наиболее дорогие насосы первых трех ступеней откачки. Старое выпускное устройство было демонтировано и законсервировано. Для нового выпускного устройства было куплено два новых турбомолекулярных насоса ТМН-400 Искитимского завода.

За короткое время пучок был выпущен в атмосферу на мишень, расположенную на расстоянии 1 м от выпускного устройства. Была достигнута достаточно устойчивая работа на мощности пучка 70 кВт и кратковременная на 100 кВт. В настоящее время на этом пучке работает установка по получению нанопорошка диоксида кремния (из песка). Мощность пучка ограничивается неустойчивой работой ЭЛВ-6 при мощности более 50 кВт. В новой конструкции достигнуто уменьшение размера устройства выпуска в 3 раза при улучшении ряда эксплуатационных параметров, таких, как ток оседания на диафрагмах и вакуум в ступенях откачки.

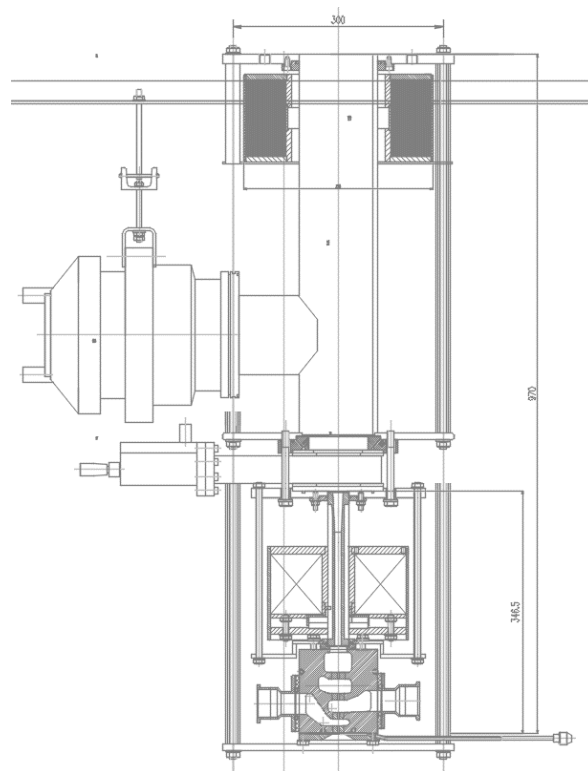


Рис. 8.2.2. Модифицированное выпускное устройство.



Рис. 8.2.3. Внешний вид экспериментальной модели модернизированного устройства выпуска сфокусированного электронного пучка в атмосферу.

8.2.4. Эксперименты по разработке коррозионностойкого реактора.

Проектирование и изготовление стола-манипулятора для перемещения изделий под электронным пучком в воздушной среде и в среде аргона.

Спроектирован и изготовлен стол-манипулятор для перемещения обрабатываемых деталей под электронным пучком на стенде ЭЛВ-6. Его управление осуществляется с компьютера, установленного в пультовые управления ускорителем. Предусмотрена возможность проведения обработки в среде инертного газа – аргона. Для этой цели стол-манипулятор помещён в герметичную камеру с устройством напуска и заданного расхода инертного газа, водо-охлаждаемой мишенью приёма пучка и компенсатором теплового расширения инертного газа (рис.8.2.4). При необходимости работы в воздушной атмосфере верхняя крышка аргоновой камеры снимается.

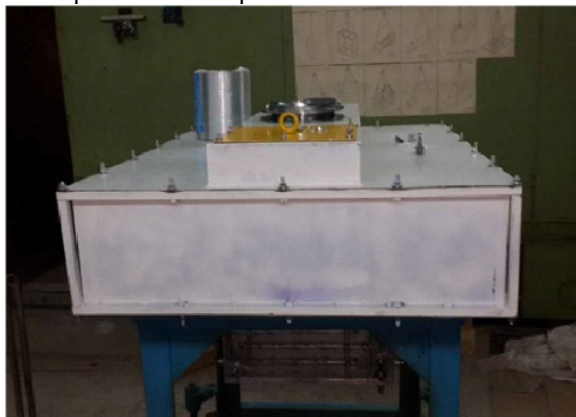


Рис. 8.2.4. Внешний вид аргоновой камеры, внутри которой размещён стол-манипулятор.

Изготовление особо коррозионностойкого реактора с применением электронного пучка, выведенного в атмосферу.

На стенде ЭЛВ-6 были продолжены работы по формированию с применением электронного пучка, двухслойных материалов на титановой основе с антикоррозионным слоем. Вследствие возможности изготовления данным методом материала только в виде плоских заготовок, была исследована применимость к полученному листовому материалу технологических операций, необходимых для изготовления из него изделий промышленного применения. Показано, что вследствие металлургической связи, возникающей между слоями при наплавке, материал может подвергаться стандартным операциям сварки, прокатки вплоть до 4-х кратного уменьшения толщины и изгиба. Эти операции не приводят к нарушению связи между слоями и формированию трещин и других существенных дефектов. На способ изготовления реактора химических производств получен патент.

Из разработанного материала изготовлен и испытан в концентрированной (65%) кипящей азотной кислоте макет особо коррозионностойкого реактора. Его стенки выполнены из пластин прочного титанового сплава BT14, на которых путём наплавки был сформирован коррозионностойкий слой толщиной 2 мм, легированный 22% Ta и 5% Nb. Испытания реактора проводились в течение 15 суток при непрерывном кипении кислоты и подтвердили вывод о высокой коррозионной стойкости материала (Рис.8.2.5). Потеря массы стенками реактора в результате коррозии в кипящей азотной кислоте с концентрацией 65% соответствует результатам выполненных в 2016 году испытаний опытных образцов материала того же состава. Коррозионная стойкость стенок реактора составила около 20 мкм/год, что по оценкам соответствует, как минимум, 30-ти летнему сроку непрерывной работы корпуса реактора.



Рис. 8.2.5. Корпус макета реактора после сварки.

БИБЛИОГРАФИЯ

Список публикаций 2017

- [1] Kolesnikov Ya.A., Gmyrya A.A., Kasatov D.A., Koshkarev A.M., Kuznetsov A.S., Makarov A.N., Sokolova E.O., Sorokin I.N., Shchudlo I.M., Taskaev S.Yu. The Study of the Electrical Strength of Selected Insulators with a Different Shape of the Surface [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 615-617. - Bibliogr.: 4 ref.
- [2] Kuznetsov A., Gmyrya A., Ivanov A., Koshkarev A., Sanin A., Kasatov D., Blokhina K. Beam Injector for Vacuum Insulated Tandem Accelerator [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 529-531. - Bibliogr.: 7 ref.
- [3] Zemlyansky I.M., Aktershev Yu.S., Anashin V.V., Andrianov A.V., Batrakov A.M., Belikov O.V., Berkaev D.E., Blinov M.F., Dovzhenko B.A., Emanov F.A., Gambaryan V.V., Kiselev V.A., Koop I.A., Mikheev I.A., Nikiforov D.A., Otboev A.V., Prosvetov V.P., Rashchenko V.V., Semenov A.M., Shatunov P.Yu., Shatunov Yu.M., Vasichev S.S., Yudin V.D., Zharinov Yu.M., Krasnov A.A., Pavlenko A.V., Rogovsky Y.A., Shwartz D.B., Starostenko A.A. Commissioning of e^+e^- Transfer Line from BINP Injection Complex to VEPP-2000 Facility [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 213-215. - Bibliogr.: 14 ref.
- [4] Rogovsky Yu., Anashin V., Berkaev D., Kasaev A., Koop I., Kenzhebulatov E., Krasnov A., Kurkin G., Kyrpotin A., Lysenko A., Motygin S., Perevedentsev E., Prosvetov V., Semenov A., Senchenko A., Shatunov Yu., Shatunov P., Shwartz D., Skrinsky A., Zemlyansky I., Zharinov Yu. Recommissioning and Perspectives of VEPP-2000 Complex [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 39-43. - Bibliogr.: 19 ref.
- [5] Shatunov P., Berkaev D., Kasaev A., Rogovsky Yu., Shwartz D., Anashin V., Bekhtenev E., Bryzgunov M., Gurov D., Kolmogorov V., Koop I., Krasnov A., Meshkov O., Rybitskaya T., Semenov A., Shatunov Yu., Shiyankov S., Starostenko A., Sukhanov A., Tsyganov A., Utkin A. Collector Ring Project at FAIR: Present Status [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 86-89. - Bibliogr.: 5 ref.
- [6] Krasnov A., Anashin V., Semenov A., Shwartz D., Baglin V., Chiggiato P., Henrist B. A Synchrotron Radiation Beamline Installed at BINP to Study the High Luminosity LHC Vacuum System [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 572-574. - Bibliogr.: 4 ref.
- [7] Tuzikov A., Brovko O., Butenko A., Eliseev A., Fateev A., Karpinsky V., Khodzhibagiyan H., Kostromin S., Meshkov I., Mikhaylov V., Sidorin A., Sidorov A., Smirnov A., Syresin E., Trubnikov G., Volkov V., Anchugov O., Kiselev V., Shvedov D., Zhuravlev A. Booster Synchrotron at NICA Accelerator Complex [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 160-162. - Bibliogr.: 10 ref.
- [8] Balakin V.V., Berkaev D.E., Anchugov O.V., Meshkov O.I., Dorokhov V.L., Kurkin G.Ya., Emanov F.A. Longitudinal Beam Distribution Measurements in Damping Ring of VEPP-5 Injection Complex [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 705-708. - Bibliogr.: 5 ref.
- [9] Emanov F., Andrianov A., Astrelina K., Balakin V.V., Barnyakov A., Belikov O.V., Berkaev D.E., Blinov M., Boimelshtein Yu.M., Bolkhovityanov D., Chupyra A.G., Dikansky N.S., Frolov A.R., Gusev Ye.A., Karpov G., Kasaev A., Kokoulin V., Kondakov A.A., Koop I., Kuptsov I., Kurkin G.Ya., Lapik R., Lebedev N., Levichev A., Logatchov P., Maltseva Yu., Martyshkin P., Murasev A., Nikiforov D., Pavlenko A.V., Pavlov V., Petrenko A., Podlevskih V., Rashchenko V., Samoylov S., Shiyankov S., Skrinsky A., Starostenko A., Sukhanov D.P., Tribendis A.G., Tsyganov A.S., Vasiliev S., Yudin V., Zemlyansky I., Rogovsky Yu., Novohatsky A., Romanov A.L. Feeding BINP Colliders with the New VEPP-5 Injection Complex [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 56-60. - Bibliogr.: 11 ref.
- [10] Vinokurov N.A., Davidyuk I.V., Getmanov Ya.V., Gorbachev Ya.I., Knyazev B.A., Kozyrev E.V., Serednyakov S.S., Arbuzov V.S., Chernov K.N., Deichuli O.I., Demytyev E.N., Dovzhenko B.A., Kolobanov E.I., Kondakov A.A., Kozak V.R., Krutikhin S.A., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kuper E.A., Kuptsov I.V., Kurkin G.Ya., Medvedev L.E., Motygin S.V., Osipov V.N., Ovchar V.K., Petrov V.M., Pilan A.M., Popik V.M., Repkov V.V., Salikova T.V., Scheglov M.A., Sedlyarov I.K., Shevchenko O.A., Skrinsky A.N., Tararyshkin S.V., Tcheskidov V.G., Vobly P.D., Volkov V.N., Tribendis A.G. Novosibirsk Free Electron Laser: Terahertz and Infrared Coherent Radiation Source [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg,

Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 16-20. - Bibliogr.: 13 ref.

[11] Volkov V., Arbuzov V., Kenzhebulatov E., Kolobanov E., Kondakov A., Kozыrev E., Krutikhin S., Kuptsov I., Kurkin G., Motygin S., Murasev A., Ovchar V., Petrov V.M., Pilan A., Repkov V., Scheglov M., Sedlyarov I., Serednyakov S., Shevchenko O., Tararyshkin S., Tribendis A., Vinokurov N. CW 100 mA Electron RF Gun for Novosibirsk ERL FEL [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 24-26. - Bibliogr.: 6 ref.

[12] Fatkin G., Bekhtenev E., Kotov E., Ottmar A., Panov A., Senchenko A., Serednyakov S., Vasilyev M., Batrakov A., Chupyra A., Macheret Ya., Mamkin V., Pavlenko A., Selivanov A., Selivanov P., Shtro K., Singatulin S. Structure and Hardware of LIA-20 Control System [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 207-209. - Bibliogr.: 7 ref.

[13] Barnyakov A., Levichev A., Nikiforov D., Maltseva M. Simulation of S-Band RF Gun with RF Beam Control [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 345-347. - Bibliogr.: 8 ref.

[14] Bykov E., Belikov O., Batrakov A., Gusev E., Kozak V. Automated System for Precision Current Sources Testing [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 589-591.

[15] Senkov D.V., Gusev I.A., Zharikov A.A., Batrakov A.M., Protopopov A.Yu. High-Precision Ramped High-Voltage Source with up to 50 kV output Voltage [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 609-611. - Bibliogr.: 2 ref.

[16] Kotov E.S., Batrakov A.M., Fatkin G.A., Pavlenko A.V., Shtro K.S., Vasilyev M.Yu. VME Based Digitizers for Waveform Monitoring System of Linear Induction Accelerator LIA-20 [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 721-723. - Bibliogr.: 3 ref.

[17] Rogovsky Yu. A., Shwartz D. B., Bekhtenev E.A., Meshkov O.I., Bryzgunov M.I., Chorniy O. Beam Diagnostics Overview for Collector Ring at FAIR [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 676-679. - Bibliogr.: 7 ref.

[18] Chupyra, A. G., Bekhtenev E.A., Karpov G.V. System of Geodetic Measurements for LIA-20 [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 724-726. - Bibliogr.: 1 ref.

[19] Belikov O., Kozak V., Kuper E., Medvedko A., Eckoldt H.J., Heidbrook N. Hardware for Increasing Reliability of the Power Supply System for Corrector Magnets of the European XFEL [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 578-580. - Bibliogr.: 2 ref.

[20] Belikov O., Kozak V., Eckoldt H.J., Heidbrook N., Moelck B. Electromagnetic Compatibility of the Power Supply System for Corrector Magnets of the European XFEL [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 581-583. - Bibliogr.: 1 ref.

[21] Belikov O., Kozak V., Medvedko A., Skorobogatov D., Vakhrushev R., Eckoldt H.J., Heidbrook N. Corrector magnet power supplies of the European XFEL [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 584-586. - Bibliogr.: 4 ref.

[22] Kozak, V., Belikov O. Controller of Power Supplies for Corrector Magnets of European XFEL [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 715-717. - Bibliogr.: 3 ref.

[23] Emanov F., Berkaev D., Bolkhovityanov D., Cheblakov P. Present Status of VEPP-5 Injection Complex Control System [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 730-732. - Bibliogr.: 15 ref.

[24] Bryazgin A.A., Bezuglov V., Faktorovich B.L., Kokin E.N., Korobeynikov M.V., Lukin A.N., Nekhaev V.E., Panfilov A.D., Radchenko V.M., Sidorov A.V., Shtarklev E., Tkachenko V.O., Voronin L.A., Vlasov A. Electron Accelerators Series ILU and Prospects of their Application in the Food Industry [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 108-110. - Bibliogr.: 4 ref.

[25] Bezuglov V., Bryazgin A., Faktorovich B., Kokin E., Nekhaev V., Panfilov A., Radchenko V., Shtarklev E., Tkachenko V., Vlasov A., Voronin L. Magnetic Systems for Beam Transport at Extraction Channels of ILU Accelerators [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 556-558. - Bibliogr.: 6 ref.

- [26] Borin V.M., Dorokhov V.L., Kiselev V.A., Kurkin G.Ya., Meshkov O.I., Nikitin S.A., Skamarokha M.A. The Longitudinal Broadband Impedance and Energy Spread Measurements at VEPP-4M [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 650-652. - Bibliogr.: 6 ref.
- [27] Reva V.B., Parkhomchuk V.V., Bryzgunov M.I., Skorobogatov D.N., Kamerdzhev V., Meshkov I.N. Recent Experiments with High Energy Electron Cooler in COSY [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 67-69. - Bibliogr.: 7 ref.
- [28] Bruker M.W., Hofmann A., Riehn E., Weilbach T., Aulenbacher K., Dietrich J., Klag W., Bryzgunov M.I., Parkhomchuk V.V., Reva V.B. New Techniques for Operation and Diagnostics of Relativistic Electron Coolers [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 449-451. - Bibliogr.: 5 ref.
- [29] Buble A., Bryzgunov M., Denisov A., Goncharov A., Panasyuk V., Parkhomchuk V., Reva V. Commissioning of the 60 keV Electron Cooler for the NICA Booster [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 452-454. - Bibliogr.: 5 ref.
- [30] Gubin K.V., Chakin I.K., Fadeev S.N., Golkovsky M.G., Maltseva Yu.I., Martyshkin P.V., Kim J.W., Kim J.Y., Park Y.H. Experimental Facility for E-Beam Irradiation Test of Prototype IF Target in RISP [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 253-255. - Bibliogr.: 9 ref.
- [31] Dokutovich, V., Senkov D., Chernyakin A. High-Voltage Power Supply for GOG-1001 [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 587-588. - Bibliogr.: 2 ref.
- [32] Vorobev D.S., Domarov E.V., Fadeev S.N., Kuksanov N.K., Lavrukhin A.V., Nemytov P.I. Digital-to-Analog Beam Energy and Current Stabilization of ELV Accelerators [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 700-701.
- [33] Senchenko A., Fatkin G., Serebnyakov S., Selivanov P. Software and Computational Infrastructure of LIA-20 Control System [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 739-741. - Bibliogr.: 5 ref.
- [34] Rastigeev S.A., Parkhomchuk V.V., Frolov A.R., Goncharov A.D., Klyuev V.F., Konstantinov E.S., Petrishchev N.A., Petrozhitskii A.V., Kutnykova L.A. Radiocarbon analysis of different samples at BINP AMS [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 95-98. - Bibliogr.: 13 ref.
- [35] Gambaryan V., Starostenko A. Fast Kicker for High Current Electron Beam Manipulation in Large Aperture [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 569-571. - Bibliogr.: 2 ref.
- [36] Gubin K.V., Trunov V.I., Gambaryan V.V., Levichev A.E., Maltseva Yu.I., Martyshkin P.V., Pachkov A.A., Peshekhonov S.N. A Faraday Cup for a Low Charge LWFA Electron Beam Measurement [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 635-637. - Bibliogr.: 10 ref.
- [37] Getmanov, Ya.V., Vinokurov N.A., Shevchenko O.A. Electron Beam Stability in the Energy Recovery Linac for the Lithographic Free Electron Laser [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 319-321. - Bibliogr.: 10 ref.
- [38] Glukhov, S.A., Levichev E.B. Dynamic Aperture Optimization of the NICA Collider [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 169-172. - Bibliogr.: 4 ref.
- [39] Glukhov, S.A. Symmetrical Parameterization for 6D Fully Coupled One-Turn Transport Matrix [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 389-391. - Bibliogr.: 4 ref.
- [40] Senkov D.V., Gusev I.A., Protopopov A.Yu., Pureskin D.N., Scheglov M.A. 300 kV High-Voltage Source with up to 15 kW Output Power [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 606-608. - Bibliogr.: 3 ref.
- [41] Taskaev S., Bykov T., Ivanov A., Kasatov D., Kolesnikov Ya., Koshkarev A., Makarov A., Ostreinov Yu., Shchudlo I., Sokolova E., Sorokin I., Sycheva T. Vacuum Insulation Tandem Accelerator: Progress and Prospects [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25

November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 147-149. - Bibliogr.: 23 ref.

[42] Shchudlo I., Kasatov D., Koshkarev A., Makarov A., Ostreinov Yu., Sorokin I., Taskaev S. Obtainment of 5 mA 2 MeV Proton Beam in the Vacuum Insulation Tandem Accelerator [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 618-619. - Bibliogr.: 10 ref.

[43] Sokolova E.O., Kasatov D.A., Koshkarev A.M., Makarov A.N., Sorokin I.N., Shchudlo I.M., Taskaev S.Yu., Gmyrya A.A., Kolesnikov Ya.A., Kuznetsov A.S. Measurement of the Ion Beam Profile with the D-Pace Wire Scanner [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 695-697. - Bibliogr.: 3 ref.

[44] Sokolova E.O., Kasatov D.A., Makarov A.N., Shchudlo I.M., Taskaev S.Yu., Kolesnikov Ya.A. Measurement of the Proton Beam Profile via an Activation Method of Diagnostics [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 698-699. - Bibliogr.: 2 ref.

[45] Bykov, T. A., Kasatov D.A. Data Processing Automatization for Gamma-Spectrometry Diagnostics of Neutron Accelerator BNCT [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 718-720. - Bibliogr.: 2 ref.

[46] Mezentshev N.A., Khruschev S.V., Shkaruba V.A., Syrovatin V.M., Tsukanov V.M. Planar Superconducting Undulator with Neutral Poles [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 21-23. - Bibliogr.: 8 ref.

[47] Shubin, E. I., Kolmogorov V.V., Styuf A.S. High Power Solid State RF Generator for Neutral Beam Injector [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 276-278. - Bibliogr.: 2 ref.

[48] Oreshonok, V. V., Kolmogorov V.V., Karpushov A.N. Control System for the 1 MW Neutral Beam Injector [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 712-714. - Bibliogr.: 4 ref.

[49] Shwartz, D., Koop I., Shatunov P. Chromatic and Nonlinear Dynamics of Antiprotons Injected to Collector Ring at FAIR [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 398-400. - Bibliogr.: 8 ref.

[50] Koshkarev A.M., Taskaev S.Yu., Kuznetsov A.S., Sanin A.L., Savkin V.Ya., Zubarev P.V. Development and Implementation of the Automation System of the Ion Source for BNCT [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 733-735. - Bibliogr.: 4 ref.

[51] Gubin K.V., Maltseva Yu.I., Martyshkin P.V., Kim J.W., Kim J.Y., Park Y.H. High-Power High-Temperature Graphite Beam Dump for E-Beam Irradiation Test of Prototype IF Target in RISP [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 632-634. - Bibliogr.: 7 ref.

[52] Mihailov K.I., Golubkov E.A., Kobets V.V., Repkin A.N., Sumbaev A.P., Pavlov V.N. Upgrade of the RF System on the LUE-200 [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 256-257. - Bibliogr.: 2 ref.

[53] Rogovsky Yu., Perevedentsev E., Zharinov Yu., Volkov V., Romanov A.L. The Longitudinal Distribution and Bunch Length Measurements at VEPP-2000 Collider [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 673-675. - Bibliogr.: 8 ref.

[54] Sheinman, I., Petrenko A. High-Energy Micro-Buncher Based on the mm-Wavelength Dielectric Structure [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 303-306. - Bibliogr.: 12 ref.

[55] Rabusov, D., Rogovsky Yu. Application of Model Independent Techniques at VEPP-2000 and SIS100 [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 664-666. - Bibliogr.: 5 ref.

[56] Sycheva T., Frolov S., Lezhnin S., Taskaev S. Beam Shaping Assembly Optimization for Boron Neutron Capture Therapy [Electronic resource] // XXV Russian Particle Accelerator Conference (RupAC-2016), 21 - 25 November 2016, St. Petersburg, Russia. - S.I.: JACoW, 2017. - P. 471-473. - Bibliogr.: 3 ref.

[57] Muchnoi, N. Laser backscattering for beam energy calibration in collider experiments. Recent results [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 2.

[58] Telnov, V. Optimization of the beam crossing angle at the ILC for e+e- and gamma-gamma collisions [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference,

27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 3.

[59] Kirilenko P., Kravchenko E., Barnyakov A., Kononov S., Sokolov A. Developing of muon system for TAIGA experiment [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 13.

[60] Shlegel V., Borovlev Yu., Grigoriev D., Grigorieva V., Danevich F., Ivannokova N., Vasiliev Y., Postupaeva A. Recent progress in oxide scintillation crystals development by low-thermal gradient Chozchralski technique for particle experiments [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 13-14.

[61] Ivanov V., Barnyakov M., Bobrovnikov V., Ovtin I. Numerical simulation of fast photo detectors based on microchannel plates [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 14.

[62] Kasyanenko P., Talyshev A., Kravchenko E., Grigoriev D. The 32-channel TDC based on Altera Cyclone III FPGA [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 15-16.

[63] Nikolenko, D. Hadron calorimeters for the experiment of tensor-polarized deuteron photo-disintegration at the VEPP-3 storage ring [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 16.

[64] Shekhtman, L. Development of a silicon micro-strip detector with single photon sensitivity for fast dynamic diffraction experiments at a synchrotron radiation beam [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 16-17.

[65] Nikolaev I., Kaminskiy V. Proposal for VEPP-4M beam energy measurement using magnetic spectrometer with Compton calibration and photon detector [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 17.

[66] Beloborodov, K. First using of the particle identification system based on dense aerogel in data analysis of the $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ process [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 18.

[67] Shemyakin, D. Z-chamber of the CMD-3 detector in the reconstruction of the track longitudinal coordinate [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 18-19.

[68] Ryzhenenkov, A. Measurement of the luminosity at the CMD-3 detector [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 22.

[69] Shemyakina E., Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Nosov V., Oleynikov V., Shekhtman L., Sokolov A. Study of proportional electroluminescence in two-phase argon [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 23.

[70] Pyata E., Achasov M., Mamoshkina E., Serednyakov S. Prototype of vacuum phototriode for SND detector [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 24.

[71] Epshteyn L., Yudin Y., Logashenko I., Mikhailov K., Grebenyuk A., Kozyrev A., Ruban A. The first results of the processing module prototype of the Liquid Xenon Calorimeter's for timing measurements [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 25.

[72] Kudryavtsev V., Bobrovnikov V., Maltsev T., Shekhtman L. Development of high resolution GEM-based detector for the extracted electron beam facility at the VEPP-4M collider [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 25.

[73] Kupich, A. Separation of e^+e^- to e^+e^- and e^+e^- to $\pi^+\pi^-$ events based on the difference in the energy deposition profiles in SND detector calorimeter [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference,

27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 26.

[74] Kazanin V., Akhmetshin R., Kuzmenko A., Grigoriev D., Timofeev A. The geometric alignment of the CMD-3 endcap electromagnetic calorimeter using events of two-quantum annihilation [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 26-27.

[75] Ovtin I., Barnyakov M., Kravchenko E., Bobrovnikov V., Barnyakov A., Kononov S., Kuyanov I., Onuchin A., Buzykaev A. Simulation of the ASHIPH Cherenkov counters of the KEDR detector [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 27.

[76] Katcin A., Barnyakov A., Barnyakov M., Prisekin V., Karpov S. Microchannel plates phototubes in high magnetic field [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 28.

[77] Rezanova, O., Shamov A., Zhilich V. Calibration of the KEDR detector Tagging System with twophoton lepton pair production [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 29.

[78] Matvienko, D. Radiation hardness study of CsI(Tl) scintillation crystals for the Belle II calorimeter [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 29.

[79] Razuvaev G., Won E., Mibe T., Choi S., Bae S., Choi H., Ko H., Kim B., Otani M., Kitamura R. The low energy beam profile monitor for the muon $g-2$ /EDM experiment at J-PARC [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 30.

[80] Shekhtman L., Zhulanov V., Aulchenko V. A 64-channel integrated circuit for signal readout from coordinate detectors [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 30.

[81] Surin, I., Zhulanov V. Development of the new spectrometric channel for the SND electromagnetic calorimeter [Electronic resource] // Instrumentation for

Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstr. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 31.

[82] Kuyanov, I. Measurement of absolute photon detection efficiency of different silicon photomultipliers [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 32.

[83] Basok I.Yu., Blinov V.E., Bykov A. V., Kharlamova T.A., Prisekin V.G., Rodyakin V.A., Savinov G.A., Shamov A.G., Todyshev K.Yu. Status of the KEDR new drift chamber [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 32.

[84] Oleinikov, V., Porosev V. After-pulsing and cross-talk comparison for KETEK PM1125NSSB0, Hamamatsu S10362-11-100C and Hamamatsu S13360-3050CS at room temperature [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 32-33.

[85] Kaminskiy, V., Muchnoi N. Energy Scale Calibration of KEDR Detector Tagging System [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 33.

[86] Barnyakov M., Blinov V., Pivovarov S., Barnyakov A., Bobrovnikov V., Ivanov V., Ovtin I., Prisekin V., Katcin A., Mamoshkina E., Pyata E. Development of MCP based particle detector [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 33.

[87] Shekhtman L., Buzulutskov A., Frolov E., Sokolov A. Study of cryogenic photomultiplier tubes for the future doublephase cryogenic avalanche detector [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 33-34.

[88] Nikolaev I., Kaminskiy V., Nikitin S., Shekhtman L., Blinov V., Kudryavtsev V., Ivakin V., Muchnoi N. Laser polarimeter at VEPP-4M [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 34.

[89] Maximov, D., Sukharev A. Concept of data storage prototype for Super-C-Tau factory detector [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding

Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 35.

[90] Shekhtman, L. Silicon micro-strip detector for imaging of fast processes at high intensity synchrotron radiation beam [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 37.

[91] Ivanov V. Charged particle identification using the liquid Xenon calorimeter of the CMD-3 detector [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 38.

[92] Kazanin V. Laboratory tests of the response stability of the ATLAS Tile Calorimeter photomultipliers [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 38-39.

[93] Bobrov, A. Energy and time reconstruction algorithm of Belle II electromagnetic calorimeter [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 39.

[94] Shekhtman L., Kudryavtsev V. Maltsev, T. Limits of a spatial resolution of the cascaded GEM based detectors [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 40.

[95] Pugachev, K. Management system for the SND experiments [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 40-41.

[96] Kozyrev, A. The electronic for TOF system of the CMD-3 detector [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 43.

[97] Dimova, T. Monitoring and Correcting for Response Changes in the CMS Lead-tungstate Electromagnetic Calorimeter in LHC Run2 [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 49.

[98] Oleinikov V., Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Grishnyaev E., Nosov V., Polosatkin S., Shekhtman L., Shemyakina E., Sokolov A. Measurement of ionization yields of nuclear recoils in liquid argon using two-phase detector [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 52-53.

[99] Shekhtman, L. High resolution micro-pattern gas detectors for particle physics, developments at the Budker INP [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 56-57.

[100] Kravchenko, E. Cherenkov detectors with aerogel radiators [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 61.

[101] Kononov, S. R&D of Focusing Aerogel RICH detectors [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 62.

[102] Barnyakov A., Santanastasio F., Barnyakov M., Tabarelli de Fatis T., Meridiani P., Pigazzini S. Micro-channel plates in ionisation mode as a fast timing device for future hadron colliders [Electronic resource] // Instrumentation for Colliding Beam Physics: INSTR-17: 12th International Conference, 27 February - 3 March 2017, Novosibirsk: book of abstracts. - Novosibirsk: BINP SB RAS, 2017. - P. 64-65.

[103] Chesnokov E.N., Kubarev V.V., Koshlyakov P.V., Fedorov V.V. Heterodyne Method of Detection of Molecular Gas in the Terahertz Region Using the Beats Between Free Induction Decay Signals // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. - 2017. - Vol. 7, № 2. - Art.nr 7851041. - P. 144-150. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1109/TTHZ.2017.2658441.

[104] Gerasimov, V. V., Knyazev B.A., Nikitin A.K. Reflection of terahertz monochromatic surface plasmon-polaritons by a plane mirror // Quantum Electronics. - 2017. - Vol. 47, № 1. - P. 65-70. - DOI 10.1070/QEL16178.

[105] Kuper K.E., Oleynikov V.P., Porosev V.V., Savinov G.A., Drozdowski W. On reachable energy resolution of SiPM based scintillation counters for X-ray detection // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 1. - Art.nr P01001. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/01/P01001.

[106] Mikhailenko M.A., Korobejnikov M.V., Bryazgin A.A., Tolochko B.P. Production of silver nanoparticles in water solution by radiation treatment // IOP Conference Series: Materials Science and

- Engineering. - 2017. - Vol. 168: XII International Conference Radiation-thermal Effects and Processes in Inorganic Materials, 4–12 September 2016, Tomsk, Russian Federation. - Art.nr 012109. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1088/1757-899X/168/1/012109.
- [107] Ancharova U.V., Mikhailenko M.A., Sharafutdinov M.R., Tolochko B.P., Gerasimov K.B., Korobeynikov M.V., Bryazgin A.A. Structure and properties of radiation modified polyethylene // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol. 168: XII International Conference Radiation-thermal Effects and Processes in Inorganic Materials, 4 - 12 September 2016, Tomsk, Russian Federation. - Art.nr 012110. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1088/1757-899X/168/1/012110.
- [108] Derevyanko D.I., Shelkovnikov V.V., Orlova N.A., Goldenberg B.G., Lemzyakov A.G., Korolkov V.P. Fabrication of High-aspect-ratio Microstructures for LIGA-technology by Synchrotron Radiation Polymerisation of Tetraacrylate Monomer // Physics Procedia. - 2017. - Vol. 86: International Conference on Photonics of Nano- and Bio-Structures, PNBS-2015, 19 - 20 June 2015, Vladivostok, Russia and the International Conference on Photonics of Nano- and Micro-Structures, PNMS-2015, 7-11 September 2015, Tomsk, Russia. - P. 122-126. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1016/j.phpro.2017.01.032.
- [109] Kubarev V.V., Getmanov Ya.V., Shevchenko O.A., Koshlyakov P.V. Threshold Conditions for Terahertz Laser Discharge in Atmospheric Gases // Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves. - 2017. - Vol. 38, № 6. - P. 787-798. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1007/s10762-017-0380-3.
- [110] Adam, J., ALICE Collab., Pestov Y. ϕ -Meson production at forward rapidity in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV and in pp collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 768. - P. 203-217. - Bibliogr.: 56 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.01.074.
- [111] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Yu. Search for narrow resonances in dilepton mass spectra in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV and combination with 8 TeV data // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 768. - P. 57-80. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.02.010.
- [112] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Measurement of the absolute branching fraction for $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \mu^+ \nu_\mu$ // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 767. - P. 42-47. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.01.047.
- [113] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of forward $\bar{t}t$, $W + \bar{b}b$ and $W + c\bar{c}$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 767. - P. 110-120. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.01.044.
- [114] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of CP asymmetry in $D^0 \rightarrow K\bar{K}^+$ decays // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 767. - P. 177-187. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.01.061.
- [115] Adam, J., ALICE Collab., Pestov Y. J/ψ suppression at forward rapidity in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 766. - P. 212-224. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2016.12.064.
- [116] Prinz V.Ya., Naumova E.V., Golod S.V., Seleznev V.A., Bocharov A.A., Kubarev V.V. Terahertz metamaterials and systems based on rolled-up 3D elements: designs, technological approaches, and properties // Scientific Reports. - 2017. - Vol. 7. - Art.nr 43334. - Bibliogr.: 110 ref. - DOI 10.1038/srep43334.
- [117] Генцелев А.Н., Баев С.Г. Кузнецов, С.А. Реализация фильтров высоких частот субтерагерцового диапазона с использованием высокоаспектных полимерных структур // Автометрия. - 2017. - Т. 53, № 1. - С. 107-116.
- [118] Абдрашитов Г.Ф., Бельченко Ю.И., Гусев И.А., Иванов А.А., Кондаков А.А., Санин А.Л., Сотников О.З., Шиховцев И.В. Характеристики мощного ВЧ-источника отрицательных ионов водорода для инжекторов нейтралов УТС // Физика плазмы. - 2017. - Т. 43, № 1. - С. 3-8. - Библиогр.: 15 назв.
- [119] Герасимов, В. В., Князев Б.А., Никитин А.К. Отражение монохроматических поверхностных плазмон-поляритонов терагерцового диапазона плоским зеркалом // Квантовая электроника. - 2017. - Т. 47, № 1. - С. 65-70. - Библиогр.: 25 назв.
- [120] Зайди Л., Кашаева Е.А., Лежнин С.И., Малышкин Г.Н., Самарин С.И., Сычева Т.В., Таскаев С.Ю., Фролов С.А. Система формирования пучка нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии // Ядерная физика. - 2017. - Т. 80, № 1. - С. 63-69. - Библиогр.: 21 назв.
- [121] Казаков В.В., Казаков В.Г., Ковалев В.С., Мешков О.И., Яценко А.С. Информационная система "Электронная структура атомов": текущее состояние и направления развития // Автометрия. - 2017. - Т. 53, № 2. - С. 45-55. - Библиогр.: 11 назв. - DOI 10.15372/AUT20170205.
- [122] Иванов И.А., Бурдаков А.В., Бурмасов В.С., Куклин К.Н., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Сидоров Е.Н., Синицкий С.Л., Судников А.В. Дифференциальное вращение плазмы в многопробочной ловушке ГОЛ-3 при инжекции релятивистского электронного пучка // Физика

плазмы. - 2017. - Т. 43, № 2. - С. 110-121. - Библиогр.: 39 назв. - DOI 10.7868/S0367292117020068.

[123] Астрелин, В.Т., Котельников И.А. О граничных условиях на поверхности плазменного эмиттера при наличии встречного потока частиц. I. Эмиттер ионов // Физика плазмы. - 2017. - Т. 43, № 2. - С. 122-133. - Библиогр.: 27 назв. - DOI 10.7868/S0367292117020020.

[124] Шалашов А.Г., Балакин А.А., Хусаинов Т.А., Господчиков Е.Д., Соломахин А.Л. Квазиоптическое моделирование электронного циклотронного нагрева плазмы в прямой магнитной ловушке // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 2017. - Т. 151, № 2. - С. 379-395. - Библиогр.: 36 назв. - DOI 10.7868/S0044451017020171.

[125] Топорков Д.К., Грамолин А.В., Зеваков С.А., Николенко Д.М., Рачек И.А., Садыков Р.Ш., Шестаков Ю.В. Получение поляризованных молекул изотопов водорода // Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики". - 2017. - Т. 105, № 5. - С. 266-269. - Библиогр.: 11 назв. - DOI 10.7868/S0370274X17050034.

[126] Каплин, В.И., Плотникова О.А. Система прецизионного измерения температуры и термоконтроля на ускорительном комплексе ВЭПП-4 // Приборы и техника эксперимента. - 2017. - № 1. - С. 45-51. - Библиогр.: 14 назв. - DOI 10.7868/S0032816217010049.

[127] Константинов С.Г. Система распределенной подачи цезия для увеличения эффективности мощных источников отрицательных ионов водорода // Приборы и техника эксперимента. - 2017. - № 1. - С. 82-85. - Библиогр.: 7 назв. - DOI 10.7868/S0032816217010062.

[128] Домаров Е.В., Иванов А.А., Куксанов Н.К., Салимов Р.А., Сорокин И.Н., Таскаев С.Ю., Черепков В.Г. Высоковольтный секционированный выпрямитель для компактного ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией // Приборы и техника эксперимента. - 2017. - № 1. - С. 77-81. - Библиогр.: 6 назв. - DOI 10.7868/S0032816216060161.

[129] Мансфельд Д.А., Шалашов А.Г., Викторов М.Е., Голубев С.В., Господчиков Е.Д., Багрянский П.А., Пинженин Е.И., Соломахин А.Л. Исследование кинетических неустойчивостей в электронно-циклотронном диапазоне частот в крупномасштабной магнитной ловушке ГДЛ // 12 ежегодная конференция "Физика плазмы в Солнечной системе", Москва, 6-10 февраля 2017 г.: тезисы. - Москва: Ин-т космических исследований РАН, 2017. - С. 68.

[130] Ковалевский К.А., Абросимов Н.В., Герасимов В.В., Жукавин Р.Х., Князев Б.А., Цыпленков В.В., Чопорова Ю.Ю., Шастин В.Н. Время релаксации возбужденных примесных состояний Sb в деформированном германии // Нанопластика и нанопластика: Труды XXI

Международного симпозиума, 13-16 марта 2017 г., Нижний Новгород. - Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2017. - Т. 2. - С. 616-617.

[131] Шастин В.Н., Жукавин Р.Х., Klopff J.M., Winnerl S., Dessmann N., Hubers H.-W., Князев Б.А., Чопорова Ю.Ю., Кулипанов Г.Н. Исследование неравновесных состояний кулоновских центров в кремнии и германии на лазерах на свободных электронах // Нанопластика и нанопластика: Труды XXI Международного симпозиума, 13-16 марта 2017 г., Нижний Новгород. - Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2017. - Т. 2. - С. 766-767. - Библ.: 4 назв.

[132] Котельников, И.А. Термоядерный реактор и солнечная энергетика // Сибирский физический журнал. - 2017. - Т. 12, № 1. - С. 19-25. - Библ.: 38 назв.

[133] Беликов О.В., Быков Е. В., Гусев Е.А., Козак В.Р. Аппаратные и программные средства для тестирования прецизионных источников тока крупных физических установок // Сибирский физический журнал. - 2017. - Т. 12, № 1. - С. 5-12. - Библиогр.: 11 назв.

[134] Аржанников А.В., Макаров М.А., Самцов Д.А., Сеницкий С.Л., Степанов В.Д. Методика нахождения углового распределения релятивистских электронов замагниченного пучка из измерений их поглощения в последовательности цилиндрических коллиматоров // Сибирский физический журнал. - 2017. - Т. 12, № 1. - С. 26-42. - Библиогр.: 15 назв.

[135] Meshkov O.I., Anchugov O.V., Dorokhov V.L., Kurkin G.Ya., Petrozhitsky A.V., Shvedov D.A., Zinin E.I., Gornostaev P. B., Schelev M.Ya., Shashkov E. V., Smirnov A.V., Zarovskii A.I. Development, Calibration and Application of New-Generation Dissectors with Picosecond Temporal Resolution [Electronic resource] // IBIC 2016: Proceedings of the 5th International Beam Instrumentation Conference, Barcelona, Spain, 11 - 15 September 2016. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr MOPG60. - P. 205-208. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IBIC2016-MOPG60.

[136] Meshkov O., Borin V., Dorokhov V., Khilchenko A., Kotelnikov A., Kvashnin A., Schegolev L., Zhuravlev A.N., Zinin E.I., Zubarev P.V., Korchuganov V., Kovachev G., Odintsov D.G., Stirin A., Tarasov Yu., Valentinov A., Zabelin A. Recent Results From New Station for Optical Observation of Electron Beam Parameters at KCSR Storage Ring [Electronic resource] // IBIC 2016: Proceedings of the 5th International Beam Instrumentation Conference, Barcelona, Spain, 11 - 15 September 2016. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr TUPG67. - P. 508-511. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IBIC2016-TUPG67.

[137] Dorokhov V., Khilchenko A., Kotelnikov A., Kvashnin A., Meshkov O., Zubarev P., Korchuganov V.,

Stirin A., Valentinov A. The New Optical Device for Turn to Turn Beam Profile Measurement [Electronic resource] // IBIC 2016: Proceedings of the 5th International Beam Instrumentation Conference, Barcelona, Spain, 11 - 15 September 2016. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr WEBL04. - P. 593-596. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI DOI:10.18429/JACoW-IBIC2016-WEBL04.

[138] Fadin, V.S. Particularities of the NNLLA BFKL // 9th International Workshop on Diffraction in High-Energy Physics, DIFFRACTION 2016, Santa Tecla di Acireale, Italy, 2 - 8 September 2016. - Melville: AIP, 2017. - Art.nr 060003. - (AIP Conference Proceedings; Vol. 1819, № 1 - 060003). - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1063/1.4977159.

[139] Boussarie R., Grabovsky A.V., Szymanowski L., Wallon S. Impact factor for exclusive diffractive dijet production with NLO accuracy // 9th International Workshop on Diffraction in High-Energy Physics, DIFFRACTION 2016, Santa Tecla di Acireale, Italy, 2-8 September 2016. - Melville: AIP, 2017. - Art.nr 030009. - (AIP Conference Proceedings; Vol. 1819). - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1063/1.4977127.

[140] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Determination of the number of J/ψ events with inclusive J/ψ decays // Chinese Physics C. - 2017. - Vol. 41, № 1. - Art.nr 013001. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1088/1674-1137/41/1/013001.

[141] Ragozin A., Zedgenizov D., Kuper K., Palyanov Y. Specific internal structure of diamonds from zarnitsa kimberlite pipe // Crystals. - 2017. - Vol. 7, № 5. - Art.nr 133. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.3390/cryst7050133.

[142] Rachek, I., Nikolenko D., Wojtsekhowski B. Status of the experiment for the search of a dark photon at VEPP-3 // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 142: International Symposium Advances in Dark Matter and Particle Physics, ADMPP 2016, University of Messina, Sicily, Italy, 24 - 27 October 2016. - Art.nr 01025. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714201025.

[143] Popov, A. S., CMD-3 Collab., Recent result from CMD-3 detector // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 142: International Symposium Advances in Dark Matter and Particle Physics, ADMPP 2016, University of Messina, Sicily, Italy, 24 - 27 October 2016. - Art.nr 01024. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714201024.

[144] Druzhinin, V.P. Study of e^+e^- annihilation to hadrons at low energies at BABAR // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 142: International Symposium Advances in Dark Matter and Particle Physics, ADMPP 2016, University of Messina, Sicily, Italy, 24 - 27 October 2016. - Art.nr 01013. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714201013.

[145] Korol A.A., Achasov M.N., Barnyakov A.Y., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Golubev

V.B., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Kupich A.S., Martin K.A., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Serednyakov S.I., Shtol D.A., Silagadze Z.K., Surin I.K., Usov Y.V., Vasiljev A.V. Recent results from the SND detector // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 142: International Symposium Advances in Dark Matter and Particle Physics, ADMPP 2016, University of Messina, Sicily, Italy, 24 - 27 October 2016. - Art.nr 01017. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714201017.

[146] Tluczykont M., Budnev N., Astapov I., Barbashina N., Bogdanov A., Boreyko V., Bruckner M., Chiavassa A., Chvalaev O., Gress O., Gress T., Grishin O., Dyachok A., Epimakhov S., Fedorov O., Gafarov A., Gorbunov N., Grebenyuk V., Grinuk A., Horns D., Kalinin A., Karpov N., Kalmykov N., Kazarina Y., Kiryuhin S., Kokoulin R., Kompaniets K., Konstantinov A., Korosteleva E., Kozhin V., Kravchenko E., Kunnas M., Kuzmichev L., Lemeshev Y., Lubsandorzhev B., Lubsandorzhev N., Mirgazov R., Mirzoyan R., Monkhoev R., Nachtigall R., Osipova E., Pakhorukov A., Panasyuk M., Pankov L., Petrukhin A., Poleschuk V., Popova E., Porelli A., Postnikov E., Prosin V., Ptuskin V., Rubtsov G., Pushnin A., Samoliga V., Satunin P., Semeney Y., Silaev A., Silaev A., Skurikhin A., Slunicka M., Sokolov A., Spiering C., Sveshnikova L., Tabolenko V., Tarashansky B., Tkachenko A., Tkachev L., Voronin D., Wischnewski R., Zagorodnikov A., Zurbanov V., Zhurov D., Yashin I. The TAIGA timing array HiSCORE - First results // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 136: 6th Roma International Conference on Astroparticle Physics, RICAP 2016, Villa TuscolanaFrascati, Roma, Italy, 21 - 24 June 2016. - Art.nr 03008. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201713603008.

[147] Buzulutskov, A. Photon emission and atomic collision processes in two-phase argon doped with xenon and nitrogen // EPL. - 2017. - Vol. 117, № 3. - Art.nr 39002. - Bibliogr.: 72 ref. - DOI 10.1209/0295-5075/117/39002.

[148] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T.A., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of top-quark pair differential cross-sections in the $e\mu$ channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 5. - Art.nr 292. - Bibliogr.: 74 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4821-x.

[149] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Performance of algorithms that reconstruct missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collisions in the ATLAS detector //

European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 4. - Art.nr 241. - Bibliogr.: 58 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4780-2.

[150] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for massive long-lived particles decaying semileptonically in the LHCb detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 4. - Art.nr 224. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4744-6.

[151] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. New algorithms for identifying the flavour of B^0 mesons using pions and protons // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 4. - Art.nr 238. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4731-y.

[152] Adam, J., ALICE Collab., Pestov Y. Measurement of azimuthal correlations of D mesons with charged particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 4. - Art.nr 245. - Bibliogr.: 71 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4779-8.

[153] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of jet activity produced in top-quark events with an electron, a muon and two b-tagged jets in the final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 4. - Art.nr 220. - Bibliogr.: 60 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4766-0.

[154] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the W boson polarisation in $t\bar{t}$ events from pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV in the lepton + jets channel with ATLAS // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 4. - Art.nr 264. - Bibliogr.: 82 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4819-4.

[155] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Electron efficiency measurements with the ATLAS detector using 2012 LHC proton-proton collision data // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 3. -

Art.nr 195. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4756-2.

[156] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for triboson $W^\pm W^\pm W^0$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 3. - Art.nr 141. - Bibliogr.: 68 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4692-1.

[157] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the phase difference between short- and long-distance amplitudes in the $B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-$ decay // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 3. - Art.nr 161. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4703-2.

[158] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for new phenomena in events containing a same-flavour opposite-sign dilepton pair, jets, and large missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 3. - Art.nr 144. - Bibliogr.: 100 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4700-5.

[159] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the prompt J/ψ pair production cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 2. - Art.nr 76. - Bibliogr.: 87 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4644-9.

[160] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for lepton-flavour-violating decays of the Higgs and Z bosons with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 2. - Art.nr 70. - Bibliogr.: 70 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4624-0.

[161] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of $B^+ \rightarrow J/\psi 3\pi^+ 2\pi^-$ and $B^+ \rightarrow \psi(2S) \pi^+ \pi^+ \pi^-$ decays // European

Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 2. - Art.nr 72. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4610-6.

[162] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. A measurement of the calorimeter response to single hadrons and determination of the jet energy scale uncertainty using LHC Run-1 pp-collision data with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 1. - Art.nr 26. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-016-4580-0.

[163] Adam, J., ALICE Collab., Pestov Y. Charged-particle multiplicities in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ to 8 TeV // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 1. - Art.nr 33. - Bibliogr.: 87 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-016-4571-1.

[164] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the $t\bar{t}W$ and $t\bar{t}W$ production cross sections in multilepton final states using 3.2 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 1. - Art.nr 40. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-016-4574-y.

[165] Chernyak, V.L. Mass spectra in $N = 1$ SQCD with additional colorless but flavored fields // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 1. - Art.nr 19. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-016-4552-4.

[166] Adam J., ALICE Collab., Pestov Y. Determination of the event collision time with the ALICE detector at the LHC // European Physical Journal Plus. - 2017. - Vol. 132, № 2. - Art.nr 99. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1140/epjp/i2017-11279-1.

[167] Rachek I.A., Dmitriev V.F., Dusaev R.R., Gauzshtein V.V., Gramolin A.V., Lazarenko B.A., Mishnev S.I., Nikolenko D.M., Sadykov R.S., Shestakov Y.V., Stibunov V.N., Toporkov D.K., Zevakov S.A. Measurement of Tensor Analyzing Power T_{20} in Coherent π^0 Photoproduction on Deuteron // Few-Body Systems. - 2017. - Vol. 58, № 2. - Art.nr 29. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1007/s00601-016-1191-0.

[168] Shoshin A.A., Arakcheev A.S., Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Ivanov I.A., Kasatov A.A., Kuklin K.N., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Sinitsky S.L., Vasilyev A.A., Vyacheslavov L.N. Study of plasma-surface interaction at the GOL-3 facility // Fusion Engineering and Design. - 2017. - Vol. 114. - P. 157-179. - Bibliogr.: 108 ref. - DOI 10.1016/j.fusengdes.2016.12.019.

[169] Sharapov V.N., Kuznetsov G.V., Logachev P.V., Cherepanova V.K., Cherepanov A.N. Modeling the dynamics of sublimation of fractured rocks in the lithospheric mantle wedge beneath volcanoes of the Avacha group (Kamchatka) // Geochemistry International. - 2017. - Vol. 55, № 3. - P. 231-250. - Bibliogr.: 73 ref. - DOI 10.1134/S0016702917030065.

[170] Balakin A.V., Dzhidzhoev M.S., Gordienko V.M., Esaulkov M.N., Zhvaniya I.A., Ivanov K.A., Kotelnikov I.A., Kuzechkin N.A., Ozheredov I.A., Panchenko V.Y., Savelev A.B., Smirnov M.B., Solyankin P.M., Shkurinov A.P. Interaction of High-Intensity Femtosecond Radiation with Gas Cluster Beam: Effect of Pulse Duration on Joint Terahertz and X-Ray Emission // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. - 2017. - Vol. 7, № 1. - Art.nr 7740088. - P. 70-79. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1109/TTHZ.2016.2617867.

[171] Kolmogorov, V.V., Oreshonok V.V. The control system of the 1-MW TCV tokamak heating neutral beam injector // Instruments and Experimental Techniques. - 2017. - Vol. 60, № 2. - P. 229-232. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1134/S0020441217010328.

[172] Kaplin, V.I., Plotnikova O.A. The precision temperature-measuring and interlock system on the VEPP-4 accelerator facility // Instruments and Experimental Techniques. - 2017. - Vol. 60, № 1. - P. 39-45. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1134/S0020441217010043.

[173] Konstantinov, S.G. A system of distributed cesium feeding for increasing the efficiency of powerful sources of negative hydrogen ions // Instruments and Experimental Techniques. - 2017. - Vol. 60, № 1. - P. 74-77. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1134/S0020441217010067.

[174] Domarov E.V., Ivanov A.A., Kuksanov N.K., Salimov R.A., Sorokin I.N., Taskaev S.Y., Cherepkov V.G. A sectioned high-voltage rectifier for a compact tandem accelerator with vacuum insulation // Instruments and Experimental Techniques. - 2017. - Vol. 60, № 1. - P. 70-73. - DOI 10.1134/S0020441216060130.

[175] Surzhikov A.P., Lysenko E.N., Vlasov V.A., Malyshev A.V., Korobeynikov M.V., Mikhailenko M.A. Influence of reagents mixture density on the radiation-thermal synthesis of lithium-zinc ferrites // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol. 168: XII International Conference Radiation-thermal Effects and Processes in Inorganic Materials, 4 - 12 September 2016, Tomsk, Russian Federation. - Art.nr 012093. - DOI 10.1088/1757-899X/168/1/012093.

[176] Golkovski M.G., Samoylenko V.V., Polyakov I.A., Lenivtseva O.G., Chakin I.K., Komarov P.N., Ruktuev A.A. Welding of a corrosion-resistant composite material based on VT14 titanium alloy obtained using an electron beam emitted into the atmosphere // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol. 168: XII International Conference Radiation-

thermal Effects and Processes in Inorganic Materials, 4 - 12 September 2016, Tomsk, Russian Federation. - Art.nr 012076. - DOI 10.1088/1757-899X/168/1/012076.

[177] Bezuglov V.V., Bryazgin A.A., Vlasov A.Yu., Voronin L.A., Ites Y.V., Korobeynikov M.V., Leonov S.V., Leonova M.A., Tkachenko V.O., Shtarklev E.A., Yuskov Y.G. Mixed feed and its ingredients electron beam decontamination // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol. 168: XII International Conference Radiation-thermal Effects and Processes in Inorganic Materials, 4 - 12 September 2016, Tomsk, Russian Federation. - Art.nr 012111. - DOI 10.1088/1757-899X/168/1/012111.

[178] Surzhikov A.P., Lysenko E.N., Vlasov V.A., Malyshev A.V., Korobeynikov M.V., Mikhailenko M.A. Effect of powder compaction on radiation-thermal synthesis of lithium-titanium ferrites // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol. 168: XII International Conference Radiation-thermal Effects and Processes in Inorganic Materials, 4 - 12 September 2016, Tomsk, Russian Federation. - Art.nr 012090. - DOI 10.1088/1757-899X/168/1/012090.

[179] Sadykov V.A., Ereemeev N.F., Vinokurov Z.S., Shmakov A.N., Kriventsov V.V., Lukashevich A.I., Krasnov A.V., Ishchenko A.V. Structural studies of pr nickelate-cobaltite-Y-doped ceria nanocomposite // Journal of Ceramic Science and Technology. - 2017. - Vol. 8, № 1. - P. 129-140. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.4416/JCST2016-00099.

[180] Shalashov A.G., Balakin A.A., Khusainov T.A., Gospodchikov E.D., Solomakhin A.L. Quasi-optical simulation of the electron cyclotron plasma heating in a mirror magnetic trap // Journal of Experimental and Theoretical Physics. - 2017. - Vol. 124, № 2. - P. 325-340. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1134/S1063776117010162.

[181] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for single production of vector-like quarks decaying to a Z boson and a top or a bottom quark in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 5. - Art.nr 29. - Bibliogr.: 65 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2017)029.

[182] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Study of the $D^0 p$ amplitude in $\Lambda b^0 \rightarrow D^0 p \pi^-$ decays // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 5. - Art.nr 30. - Bibliogr.: 59 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2017)030.

[183] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Erratum to: Measurement of forward J/ψ production cross-sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 5. - Art.nr 63. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2017)063.

[184] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Observation of $Y(1S)$ pair production in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 5. - Art.nr 13. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2017)013.

[185] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the inclusive cross-sections of single top-quark and top-antiquark t-channel production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 4. - Art.nr 86. - Bibliogr.: 84 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2017)086.

[186] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Evidence for the two-body charmless baryonic decay $B^+ \rightarrow p \bar{\Lambda}$ // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 4. - Art.nr 162. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2017)162.

[187] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Erratum to: Measurements of the S-wave fraction in $B^0 \rightarrow K^+ \pi^- \mu^+ \mu^-$ decays and the $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ differential branching fraction // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 4. - Art.nr 142. - Bibliogr.: 1 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2017)142.

[188] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for electroweak production of a vector-like quark decaying to a top quark and a Higgs boson using boosted topologies in fully hadronic final states // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 4. - Art.nr 136. - Bibliogr.: 60 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2017)136.

[189] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Measurements of differential production cross sections for a Z boson in association with jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 4. - Art.nr 22. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2017)022.

[190] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the suppressed decay $\Lambda b^0 \rightarrow p \pi^- \mu^+ \mu^-$ // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 4. - Art.nr 29. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2017)029.

[191] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A.

Probing the Wtb vertex structure in t -channel single-top-quark production and decay in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 4. - Art.nr 124. - Bibliogr.: 87 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2017)124.

[192] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Charged-particle nuclear modification factors in PbPb and pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 4. - Art.nr 39. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2017)039.

[193] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for CP violation in t \bar{t} -bar production and decay in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 3. - Art.nr 101. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2017)101.

[194] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of charged-particle distributions sensitive to the underlying event in $\sqrt{s} = 13$ TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector at the LHC // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 3. - Art.nr 157. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2017)157.

[195] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for heavy neutrinos or third-generation leptoquarks in final states with two hadronically decaying τ leptons and two jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 3. - Art.nr 77. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2017)077.

[196] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for massive resonances decaying into WW , WZ or ZZ bosons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 3. - Art.nr 162. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2017)162.

[197] Henn J., Lee R.N., Smirnov A.V., Smirnov V.A., Steihauser M. Four-loop photon quark form factor and cusp anomalous dimension in the large- N_c limit of QCD // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 3. - Art.nr 139. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2017)139.

[198] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for dark matter and unparticles in events with a Z boson and missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 3. - Art.nr 61. - Bibliogr.: 85 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2017)061.

[199] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of top quark spin observables in $t\bar{t}$ events using dilepton final states in $\sqrt{s} = 8$ TeV pp collisions with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 3. - Art.nr 113. - Bibliogr.: 75 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2017)113.

[200] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the ratio of branching fractions and difference in CP asymmetries of the decays $B^+ \rightarrow J/\psi\pi^+$ and $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$ // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 3. - Art.nr 36. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2017)036.

[201] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for decays of neutral beauty mesons into four muons // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 3. - Art.nr 1. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2017)001.

[202] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of charge and CP asymmetries in b -hadron decays using top-quark events collected by the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = \sqrt{8}$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 2. - Art.nr 71. - Bibliogr.: 101 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2017)071.

[203] Adam, J., ALICE Collab., Pestov Y. W and Z boson production in p -Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 2. - Art.nr 77. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2017)077.

[204] Vinokurova A., Belle Collab., Kuzmin A., Eidelman S., Arinstein K., Bobrov A., Bondar A., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Lukin P., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Vorobyev V., Zhulanov V. Erratum to: Search for B decays to final states with the η_c meson // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 2. - Art.nr 88. - DOI 10.1007/JHEP02(2017)088.

[205] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of top-quark pair to Z -boson cross-section ratios at $\sqrt{s}=13, 8, 7$ TeV with the ATLAS detector //

Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 2. - Art.nr 117. - Bibliogr.: 82 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2017)117.

[206] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for heavy resonances decaying to tau lepton pairs in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 2. - Art.nr 48. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2017)048.

[207] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Searches for invisible decays of the Higgs boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7, 8,$ and 13 TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 2. - Art.nr 135. - Bibliogr.: 97 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2017)135.

[208] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the ZZ production cross section in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV using the ZZ -- $\ell\text{-}\ell\text{+}\ell\text{-}\ell\text{+}$ and ZZ -- $\ell\text{-}\ell\text{+}\nu\text{-}\nu$ decay channels with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 1. - Art.nr 99. - Bibliogr.: 84 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2017)099.

[209] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of $\psi(2S)$ and $X(3872) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 1. - Art.nr 117. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2017)117.

[210] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Search for high-mass $Z\gamma$ resonances in $e+e-\gamma$ and $\mu+\mu-\gamma$ final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ and 13 TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 1. - Art.nr 76. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2017)076.

[211] Erenburg S.B., Trubina S.V., Yukhin Y.M., Sharafutdinov M.R. Structural characteristics of amorphous K-Bi citrate (De-Nol) and its aqueous solutions from EXAFS spectra // Journal of Inorganic Biochemistry. - 2017. - Vol. 166. - P. 94-99. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1016/j.jinorgbio.2016.11.001.

[212] Barnyakov A.Y., Barnyakov M.Y., Cygankov D.A., Katcin A.A., Kononov S.A., Onuchin A.P. Measurement of the photoelectron collection efficiency in MCP PMT // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 3. - Art.nr P03027. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/03/P03027.

[213] Barnyakov A., Barnyakov M., Brianza L., Cavallari F., Ciriolo V., Re D.D., Gelli S., Ghezzi A., Gotti C., Martelli A., Marzocchi B., Meridiani P., Organtini G., Pigazzini S., Paramatti R., Rahatlou S., Rovelli C., Santanastasio F., Fatis T.T.D. A fast timing calorimetric layer using micro-channel plates in ionisation mode // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 3: 14th Topical Seminar on Innovative Particle and Radiation Detectors (IPRD16), Siena, Italy, 3 - 6 October 2016. - Art.nr C03019. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/03/C03019.

[214] Epshteyn L.B., Grebenuyk A.A., Kozyrev A.N., Logashenko I.B., Mikhaylov K.Y., Ruban A.A., Yudin Y.V. Processing of the signals from the Liquid Xenon Calorimeter for timing measurements // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 2: Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP2016), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany, 26–30 September 2016. - Art.nr C02035. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/02/C02035.

[215] Epshteyn L.B., Akhmetshin R.R., Grigogiev D.N., Kazanin V.F., Melnik A.S., Shoukovy D.V., Yudin Y.V. The level-1 trigger system for the electromagnetic calorimeter of the COMET experiment // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 1: Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP2016), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany, 26–30 September 2016. - Art.nr C01064. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/01/C01064.

[216] Reznichenko, A. V., Terekhov I.S., Turitsyn S.K. Calculation of mutual information for nonlinear optical fiber communication channel at large SNR with in path-integral formalism // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 826, Is. 1: 25th Annual International Laser Physics Workshop: LPHYS 2016; Yerevan; Armenia; 11 - 15 July 2016. - Art.nr 012026. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/826/1/012026.

[217] Tayursky, V.A. Development of two-photon event generators for the KEDR experiment // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 798, Is. 1: 2nd International Conference on Particle Physics and Astrophysics: ICPPA 2016; Moscow; Russian Federation; 10 - 14 October 2016. - Art.nr 012153. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/798/1/012153.

[218] Trunov V.I., Lotov K.V., Gubin K.V., Pestryakov E.V., Bagayev S.N., Logachev P.V. Laser-driven plasma wakefield electron acceleration and coherent femtosecond pulse generation in X-ray and gamma ranges // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 793, Is. 1: VII International Symposium and Young Scientists School "Modern Problems of Laser Physics": MPLP 2016, 22 - 28 August 2016, Novosibirsk, Russian Federation. - Art.nr 012028. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/793/1/012028.

- [219] Bondar, A. E., Mizuk R.V., Voloshin M.B. Bottomonium-like states: Physics case for energy scan above the $B\bar{B}$ threshold at Belle-II // *Modern Physics Letters A*. - 2017. - Vol. 32, № 4. - Art.nr 1750025. - Bibliogr.: 54 ref. - DOI 10.1142/S0217732317500250.
- [220] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Measurement of matter-antimatter differences in beauty baryon decays // *Nature Physics*. - 2017. - Vol. 13, № 4. - P. 391-396. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1038/nphys4021.
- [221] Zaboronok A.A., Byvaltsev V.A., Kanygin V.V., Iarullina A.I., Kichigin A.I., Taranin A.V., Volkova O.Yu., Mechetina L.V., Taskaev S.Yu., Muhamadiyarov R.A., Zavyalov E.L., Nakai K., Sato E., Yamamoto T., Mathis B.J., Matsumura A. Boron-neutron capture therapy in Russia: Preclinical evaluation of efficacy and perspectives of its application in neuro-oncology // *New Armenian Medical Journal*. - 2017. - Vol. 11, № 1. - P. 6-15. - Bibliogr.: 47 ref.
- [222] Kovalenko K.A., Ruban N.V., Adonin S.A., Korneev D.V., Erenburg S.B., Trubina S.V., Kvashnina K., Sokolov M.N., Fedin V.P. Bi(iii) immobilization inside MIL-101: enhanced photocatalytic performance // *New Journal of Chemistry*. - 2017. - Vol. 41, № 6. - P. 2255-2260. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1039/C6NJ03482A.
- [223] Postupaev V.V., Batkin V.I., Beklemishev A.D., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Chernoshtanov I.S., Gorbovsky A.I., Ivanov I.A., Kuklin K.N., Mekler K.I., Rovenskikh A.F., Sidorov E.N., Yurov D.V. The GOL-NB program: Further steps in multiple-mirror confinement research // *Nuclear Fusion*. - 2017. - Vol. 57, № 3. - Art.nr 036012. - Bibliogr.: 87 ref. - DOI 10.1088/1741-4326/57/3/036012.
- [224] Yakovlev D.V., Shalashov A.G., Gospodchikov E.D., Solomakhin A.L., Savkin V.Y., Bagryansky P.A. Electron cyclotron plasma startup in the GDT experiment // *Nuclear Fusion*. - 2017. - Vol. 57, № 1. - Art.nr 016033. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1088/0029-5515/57/1/016033.
- [225] Korol, A. A., Melnikova N.A. Geometric calibration of the SND detector electromagnetic calorimeter // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A*. - 2017. - Vol. 847. - P. 179-186. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2016.11.071.
- [226] Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Nosov V., Shekhtman L., Shemyakina E., Sokolov A. Two-phase Cryogenic Avalanche Detector with electroluminescence gap operated in argon doped with nitrogen // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A*. - 2017. - Vol. 845: Proceedings of the Vienna Conference on Instrumentation 2016, Vienna, February 15 to 19, 2016. - P. 206-209. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2016.05.109.
- [227] Babichev E.A., Baru S.E., Grigoriev D.N., Leonov V.V., Oleynikov V.P., Porosev V.V., Savinov G.A. Photon counting detector for the personal radiography inspection system "SIBSCAN" // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A*. - 2017. - Vol. 845: Proceedings of the Vienna Conference on Instrumentation 2016, Vienna, February 15 to 19, 2016. - P. 499-502. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2016.06.051.
- [228] Kudryavtsev, V. N., Maltsev T.V., Shekhtman L.I. Study of spatial resolution of coordinate detectors based on Gas Electron Multipliers // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A*. - 2017. - Vol. 845: Proceedings of the Vienna Conference on Instrumentation 2016, Vienna, February 15 to 19, 2016. - P. 289-292. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2016.06.066.
- [229] Barnyakov A., Barnyakov M., Brianza L., Cavallari F., Ciriolo V., Del Re D., Gelli S., Ghezzi A., Gotti C., Govoni P., Martelli A., Marzocchi B., Meridiani P., Organtini G., Paramatti R., Pigazzini S., Rahatlou S., Rovelli C., Santanastasio F., Tabarelli de Fatis T. Beam test results on the detection of single particles and electromagnetic showers with microchannel plates // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A*. - 2017. - Vol. 845: Proceedings of the Vienna Conference on Instrumentation 2016, Vienna, February 15 to 19, 2016. - P. 471-474. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2016.05.101.
- [230] Budnev N., Astapov I., Barbashina N., Barnyakov A., Bezyazeev P., Bogdanov A., Boreyko V., Bruckner M., Chiavassa A., Chvalaev O., Dyachok A., Epimakhov S., Fedorov O., Fedoseev E., Gafarov A., Gorbunov N., Grebenyuk V., Gress O., Gress T., Grinyuk A., Grishin O., Haungs A., Hiller R., Horns D., Huege T., Ivanova A., Karpov N., Kalmykov N., Kazarina Y., Kirilenko P., Kirichkov N., Kiryuhin S., Kleifges M., Kokoulin R., Kompaniets K., Korosteleva E., Kostunin D., Kozhin V., Kravchenko E., Kunnas M., Kuzmichev L., Lenok V., Lubsandorzhiev B., Lubsandorzhiev N., Mirgazov R., Mirzoyan R., Monkhoev R., Nachtigall R., Osipova E., Pakhorukov A., Panasyuk M., Pankov L., Perevalov A., Petrukhin A., Pivovarov S., Platonov V., Poleschuk V., Popova E., Porelli A., Postnikov E., Prosin V., Ptuskin V., Pushnin A., Rubtsov G., Rybov E., Samoliga V., Saunkin A., Schroder F., Semeny Y., Silaev A., Silaev A., Skurikhin A., Sokolov A., Spiering C., Sveshnikova L., Tabolenko V., Tarashchansky B., Tikhonov Y., Tkachenko A., Tkachev L., Tluczykont M., Voronin D., Wischnewski R., Yashin I., Yurin K., Zagorodnikov A., Zirakashvili V., Zurbanov V. The TAIGA experiment: From cosmic-ray to gamma-ray astronomy in the Tunka valley // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A*. - 2017. - Vol. 845: Proceedings of the Vienna Conference on Instrumentation 2016, Vienna, February 15 to 19, 2016. - P. 330-333. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2016.06.041.

- [231] Barnyakov A.Y., Barnyakov M.Y., Prisekin V.G., Karpov S.V., Katcin A.A. Test of microchannel plates in magnetic fields up to 4.5 T // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A.* - 2017. - Vol. 845: Proceedings of the Vienna Conference on Instrumentation 2016, Vienna, February 15 to 19, 2016. - P. 588-590. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2016.05.131.
- [232] Aulchenko V., Pruel E., Shekhtman L., Ten K., Tolochko B., Zhulanov V. Development of the microstrip silicon detector for imaging of fast processes at a synchrotron radiation beam // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A.* - 2017. - Vol. 845: Proceedings of the Vienna Conference on Instrumentation 2016, Vienna, February 15 to 19, 2016. - P. 169-172. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2016.05.096.
- [233] Lysenko E.N., Surzhikov A.P., Vlasov V.A., Nikolaev E.V., Malyshev A.V., Bryazgin A.A., Korobeynikov M.V., Mikhailenko M.A. Synthesis of substituted lithium ferrites under the pulsed and continuous electron beam heating // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. B.* - 2017. - Vol. 392. - P. 1-7. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1016/j.nimb.2016.11.042.
- [234] Adlarson P., WASA-at-COSY Collab., Bondar A., Kuzmin A., Shwartz B. Search for η -mesic ${}^4\text{He}$ in the $dd \rightarrow {}^3\text{He} n\pi^0$ and $dd \rightarrow {}^3\text{He} p\pi^-$ reactions with the WASA-at-COSY facility // *Nuclear Physics A.* - 2017. - Vol. 959. - P. 102-115. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2017.01.001.
- [235] Jackson P., ALICE Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T.A., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A. High-ET isolated-photon plus jets production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // *Nuclear Physics B.* - 2017. - Vol. 918. - P. 257-316. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysb.2017.03.006.
- [236] Bottino B., TPC Collab., Bondar A., Buzulutskov A., Nosov V., Shekhtman L. The DarkSide experiment // *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C.* - 2017. - Vol. 40, № 1. - Art.nr 52. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1393/ncc/i2017-17052-3.
- [237] Kotelnikov, I.A., Timofeev I.V., Shkurinov A.P. Comment on the paper "Radially polarized terahertz radiation in laser-induced linear plasma wake" // *Optik.* - 2017. - Vol. 130. - P. 1347-1348. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.1016/j.ijleo.2016.11.136.
- [238] Kuznetsov, S.A., Gentslev A.N., Baev S.G. Implementation of high-pass subterahertz filters using high-aspect-ratio polymeric structures // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing.* - 2017. - Vol. 53, № 1. - P. 88-95. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.3103/S8756699017010137.
- [239] Shkurinov A.P., Sinko A.S., Solyankin P.M., Borodin A.V., Esaulkov M.N., Annenkov V.V., Kotelnikov I.A., Timofeev I.V., Zhang X.-C. Impact of the dipole contribution on the terahertz emission of air-based plasma induced by tightly focused femtosecond laser pulses // *Physical Review E.* - 2017. - Vol. 95, № 4. - Art.nr 043209. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1103/PhysRevE.95.043209.
- [240] Panarin, A. A., Reznichenko A.V., Terekhov I.S. Next-to-leading-order corrections to capacity for a nondispersive nonlinear optical fiber channel in the intermediate power region // *Physical Review E.* - 2017. - Vol. 95, № 1. - Art.nr 012127. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1103/PhysRevE.95.012127.
- [241] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Observation of Five New Narrow Ω_c^0 States Decaying to $\Xi_c^+ K^-$ // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 118, № 18. - Art.nr 182001. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.182001.
- [242] Adam J., ALICE Collab., Pestov Y. Flow Dominance and Factorization of Transverse Momentum Correlations in Pb-Pb Collisions at the LHC // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 118, № 16. - Art.nr 162302. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.162302.
- [243] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Relative Modification of Prompt $\psi(2S)$ and J/ψ Yields from pp to PbPb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 118, № 16. - Art.nr 162301. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.162301.
- [244] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Observation of Charge-Dependent Azimuthal Correlations in p-Pb Collisions and its Implication for the Search for the Chiral Magnetic Effect // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 118, № 12. - Art.nr 122301. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.122301.
- [245] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Observation of $B_c^+ \rightarrow d^0 K^+$ Decays // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 118, № 11. - Art.nr 111803. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.111803.
- [246] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Observation of $\Lambda_c^+ \rightarrow n K_S^0 \pi^+$ // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 118, № 11. - Art.nr 112001. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.112001.

[247] Wehle S., Belle Collab., Aulchenko V., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Shwartz B., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Lepton-Flavor-Dependent Angular Analysis of $B \rightarrow K^* \ell^+ \ell^-$ decay // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 11. - Art.nr 111801. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.111801.

[248] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Precise Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi$ Cross Section at Center-of-Mass Energies from 3.77 to 4.60 GeV // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 9. - Art.nr 092001. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.092001.

[249] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Evidence of Two Resonant Structures in $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- hc$ // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 9. - Art.nr 092002. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.092002.

[250] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Observation of the Annihilation Decay Mode $B^0 \rightarrow K^+K^-$ // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 8. - Art.nr 081801. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.081801.

[251] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Observation of the Decay $\Xi_b^- \rightarrow p K^- K^-$ // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 7. - Art.nr 071801. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.071801.

[252] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Measurement of the b-quark production cross section in 7 and 13 TeV pp collisions // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 5. - Art.nr 052002. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.052002.

[253] Nanut T., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Observation of $D^0 \rightarrow \rho^0 \gamma$ and Search for CP Violation in Radiative Charm Decays // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 5. - Art.nr 051801. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.051801.

[254] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu. Search for $B^+ \rightarrow k^+ \tau^+ \tau^-$ at the BaBar Experiment // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 3. - Art.nr 031802. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.031802.

[255] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A.,

Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Observation of $J/\psi \phi$ Structures Consistent with Exotic States from Amplitude Analysis of $B^+ \rightarrow J/\psi \phi K^+$ Decays // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 2. - Art.nr 022003. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.022003.

[256] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. First Experimental Study of Photon Polarization in Radiative B_s^0 Decays // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 2. - Art.nr 021801. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.021801.

[257] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Amplitude Analysis of the Decays $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ and $\eta' \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$ // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 1. - Art.nr 012001. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.012001.

[258] Strelnikov N., Vasserman I., Xu J., Jensen D., Schmidt O., Trakhtenberg E., Suthar K., Moog E.R., Pile G., Gluskin E. Vertically polarizing undulator with dynamic compensation of magnetic forces // Physical Review Accelerators and Beams. - 2017. - Vol. 20, № 1. - Art.nr 010701. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1103/PhysRevAccelBeams.20.010701.

[259] Seryotkin Y.V., Bakakin V.V., Likhacheva A.Y., Dementiev S.N., Rashchenko S.V. Structural behavior of Tl-exchanged natrolite at high pressure depending on the composition of pressure-transmitting medium // Physics and Chemistry of Minerals. - 2017. - P. 1-12. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1007/s00269-017-0887-0.

[260] Anashin V.V., Aulchenko V.M., Baldin E.M., Barladyan A.K., Barnyakov A.Y., Barnyakov M.Y., Baru S.E., Basok I.Y., Batrakov A.M., Blinov A.E., Blinov V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bogomyagkov A.V., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Eidelman S.I., Grigoriev D.N., Glukhovchenko Y.M., Karnev S.E., Karpov G.V., Karpov S.V., Kasyanenko P.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kolmogorov V.V., Kononov S.A., Kotov K.Y., Kravchenko E.A., Kudryavtsev V.N., Kulikov V.F., Kurkin G.Y., Kuyanov I.A., Kuper E.A., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Morozov I.I., Muchnoi N.Y., Neufeld V.V., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Osipov A.A., Ovtin I.V., Pegelanchuk S.V., Pivovarov S.G., Piminov P.A., Petrov V.V., Prisekin V.G., Rezanova O.L., Ruban A.A., Sandryev V.K., Savinov G.A., Shamov A.G., Shatilov D.N., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skrinsky A.N., Sokolov A.V., Sukharev A.M., Starostina E.V., Talyshev A.A., Tayursky V.A., Telnov V.I., Tikhonov Y.A., Todyshev K.Y., Tumaikin G.M., Usov Y.V., Vorobiov A.I., Zhilich V.N., Zhulanov V.V., Zhuravlev A.N. Measurement of R between 1.84 and 3.05 GeV at the KEDR detector // Physics Letters B. - 2017. - Vol.

770. - P. 174-181. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.04.073.

[261] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Study of J/ψ and $\psi(3686) \rightarrow \Sigma(1385)0\Sigma^-(1385)0$ and $\Xi^0\Xi^-0$ // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 770. - P. 217-225. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.04.048.

[262] Adlarson P., Bondar A., Kuzmin A., Shwartz B. Measurement of the $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ Dalitz plot distribution // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 770. - P. 418-425. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.03.050.

[263] Shamov A.G., Todyshev K.Y. Shamov A.G., Analysis of BaBar, Belle, BES-II, CLEO and KEDR data on $\psi(3770)$ line shape and determination of the resonance parameters // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 769. - P. 187-190. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.03.057.

[264] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Observation of $\eta_c(2S) \rightarrow p\bar{p}$ and search for $X(3872) \rightarrow p\bar{p}$ decays // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 769. - P. 305-313. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.03.046.

[265] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Search for CP violation in the phase space of $D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ decays // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 769. - P. 345-356. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.03.062.

[266] Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Berkaev D.E., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G.V., Gayazov S.E., Grebenuk A.A., Gribanov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kasaev A.S., Kazanin V.F., Koop I.A., Kovalenko O.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lysenko A.P., Lukin P.A., Mikhailov K.Y., Okhapkin V.S., Pestov Y.N., Perevedentsev E.A., Popov A.S., Razuvaev G.P., Rogovsky Y.A., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenkov A.E., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D.B., Sibidanov A.L., Shatunov Y.M., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Y.V. Study of the process $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ in the c.m. energy range 920–1060 MeV with the CMD-3 detector // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 768. - P. 345-350. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.03.022. - e-Print: arXiv: 1612.04483.

[267] Anastasi A., KLOE-2 Collab., Lukin P.A. Measurement of the running of the fine structure constant below 1 GeV with the KLOE detector // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 767. - P. 485-492. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2016.12.016.

[268] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Measurements of the branching fractions for $D^+ \rightarrow K_S^0 K_S^0 K^+$, $K_S^0 K_S^0 \pi^+$ and $D^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0$, $K_S^0 K_S^0 K_S^0$ // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 765. - P. 231-237. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2016.12.020.

[269] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for dark matter in association with Higgs boson decaying to b-quarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 765. - P. 11-31. - Bibliogr.: 92 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2016.11.035.

[270] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of W boson angular distributions in events with high transverse momentum jets at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 765. - P. 132-153. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2016.12.005.

[271] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for new resonances decaying to a W or Z boson and a Higgs boson in the $\ell^+\ell^-b\bar{b}$, $\ell\nu b\bar{b}$, and $\nu\bar{\nu}b\bar{b}$ channels with pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 765. - P. 32-52. - Bibliogr.: 66 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2016.11.045.

[272] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Search for the suppressed decays $B^+ \rightarrow K^+K^+\pi^-$ and $B^+ \rightarrow \pi^+\pi^+K^-$ // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 765. - P. 307-316. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2016.11.053.

[273] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Search for the CP-violating strong decays $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-$ and $\eta'(958) \rightarrow \pi^+\pi^-$ // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 764. - P. 233-240. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2016.11.032.

[274] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L.,

Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for heavy resonances decaying to a Z boson and a photon in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 764. - P. 11-30. - Bibliogr.: 57 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2016.11.005.

[275] Zaidi L., Kashaeva E.A., Lezhnin S.I., Malyshkin G.N., Samarin S.I., Sycheva T.V., Taskaev S.Y., Frolov S.A. Neutron-beam-shaping assembly for boron neutron-capture therapy // *Physics of Atomic Nuclei*. - 2017. - Vol. 80, № 1. - P. 60-66. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1134/S106377881701015X.

[276] Nikolenko D.M., Gramolin A.V., Mishnev S.I., Rachek I.A., Shestakov Y.V., Tikhonov Y.A., Toporkov D.K., Zevakov S.A. Tensor observables in electro- and photoreactions on the deuteron // *Physics of Particles and Nuclei*. - 2017. - Vol. 48, № 1. - P. 102-110. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1134/S1063779617010154.

[277] Kumar M., Lee K., Hee Park S., Uk Jeong Y., Vinokurov N. Terahertz radiation generation by nonlinear mixing of two lasers in a plasma with density hill // *Physics of Plasmas*. - 2017. - Vol. 24, № 3. - Art.nr 033104. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1063/1.4975612.

[278] Lotov K.V. Radial equilibrium of relativistic particle bunches in plasma wakefield accelerators // *Physics of Plasmas*. - 2017. - Vol. 24, № 2. - Art.nr 023119. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1063/1.4977058.

[279] Soldatkin E., Anikeev M., Bagryansky P., Korzhavina M., Maximov V., Savkin V., Yakovlev D., Yushmanov P., Dunaevsky A. Influence of the magnetic field expansion on the core plasma in an axisymmetric mirror trap // *Physics of Plasmas*. - 2017. - Vol. 24, № 2. - Art.nr 022505. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1063/1.4976548.

[280] Kotelnikov I.A. Astrelin, V. T. Boundary conditions on the plasma emitter surface in the presence of a particle counter flow: I. Ion emitter // *Plasma Physics Reports*. - 2017. - Vol. 43, № 2. - P. 129-140. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1134/S1063780X17020027.

[281] Ivanov I.A., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Kuklin K.N., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sidorov E.N., Sinitsky S.L., Sudnikov A.V. Differential rotation of plasma in the GOL-3 multiple-mirror trap during injection of a relativistic electron beam // *Plasma Physics Reports*. - 2017. - Vol. 43, № 2. - P. 119-128. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1134/S1063780X17020064.

[282] Abdrashitov G.F., Belchenko Y.I., Gusev I.A., Ivanov A.A., Kondakov A.A., Sanin A.L., Sotnikov O.Z., Shikhovtsev I.V. Characteristics of a high-power RF source of negative hydrogen ions for neutral beam injection into controlled fusion devices // *Plasma Physics Reports*. - 2017. - Vol. 43, № 1. - P. 12-17. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1134/S1063780X17010019.

[283] Royak M., Stupakov I., Kondratyeva N., Antokhin E. Finite element formulation with coupled vector-scalar magnetic potentials for eddy current

problems // 11th International Forum on Strategic Technology: IFOST 2016; Novosibirsk; Russian Federation; 1-3 June 2016. - Danvers: IEEE, 2017. - Art.nr 7884153. - P. 456-460. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1109/IFOST.2016.7884153.

[284] Vorobiev N.S., Gornostaev P.B., Dorokhov V.L., Korchuganov V.N., Lozovoi V.I., Meshkov O.I., Ma X., Nikiforov D.A., Smirnov A.V., Shashkov E.V., Schelev M.Y., Stirin A.I., Valentinov A.G., Vereshchagin A.K. Picosecond streak-cameras for bunch diagnostics in accelerators // *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. - 2017. - Vol. 10328: 31st International Congress on High-Speed Imaging and Photonics, 7-10 November 2016, Osaka, Japan. - Art.nr 103280N. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1117/12.2268720.

[285] Meshkov O.I., Zinin E.I., Dorokhov V.L., Anchugov O.V., Kurkin G.Ya., Shvedov D.V., Petrozhitsky A.N., Gornostaev P.B., Zarovskii A.I., Shashkov E.V., Smirnov A.V., Schelev M.Ya., Vereshchagin A.K. Development, calibration and application of new generation dissector with picosecond temporal resolution // *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. - 2017. - Vol. 10328: 31st International Congress on High-Speed Imaging and Photonics, 7-10 November 2016, Osaka, Japan. - Art.nr 103280P. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1117/12.2270398.

[286] Shevchenko O.A., Arbutov V.S., Vinokurov N.A., Vobly P.D., Volkov V.N., Getmanov Y.V., Davidyuk I.V., Deychuly O.I., Demytyev E.N., Dovzhenko B.A., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kondakov A.A., Kozak V.R., Kozyrev E.V., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kuper E.A., Kuptsov I.V., Kurkin G.Y., Krutikhin S.A., Medvedev L.E., Motygin S.V., Ovchar V.K., Osipov V.N., Petrov V.M., Pilan A.M., Popik V.M., Repkov V.V., Salikova T.V., Sedlyarov I.K., Serednyakov S.S., Skrinisky A.N., Tararyshkin S.V., Tribendis A.G., Cheskidov V.G., Chernov K.N., Shcheglov M.A. Novosibirsk Free Electron Laser: Recent Achievements and Future Prospects // *Radiophysics and Quantum Electronics*. - 2017. - Vol. 59, № 8/9. - P. 605-612. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1007/s11141-017-9727-9.

[287] Иванов А.А., Багрянский П.А., Беклемишев А.Д., Бурдаков А.В. Будущее открытых магнитных систем для термоядерного синтеза // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 45. - Библиогр.: 2 назв.

[288] Беклемишев, А.Д. Перспективные элементы концепции ГДМЛ // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов

докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 61. - Библиогр.: 5 назв.

[289] Багрянский П.А., Анিকেев А.В., Анিকেев М.А., Господчиков Е.Д., Иванов А.А., Коробейникова О.А., Коржавина М.С., Максимов В.В., Мурахтин С.В., Пинженин Е.И., Приходько В.В., Солдаткина Е.И., Соломахин А.Л., Шалашов А.Г., Яковлев Д.В. Исследование удержания плазмы в газодинамической ловушке: новые результаты и ближайшие планы // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 62. - Библиогр.: 5 назв.

[290] Бурдаков, А. В., Поступаев В.В., Судников А.В. Развитие экспериментов на многопробочных плазменных ловушках для целей УТС // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 63. - Библиогр.: 7 назв.

[291] Погосов А.Г., Махмудиан М.М., Ненашев А.В., Жданов Е.Ю., Похабов Д.А., Баткин В.И., Бердюгин А.В., Боровков В.И., Дубровский В.Г., Киприянов А.А., Лежнин С.И., Пальчиков Е.И., Федотович Г.В. Варианты задач по физике, предлагавшихся на олимпиаде школьников "Будущее Сибири" и на вступительных экзаменах в НГУ в 2011-2015 гг. (с решениями). - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - 190 с.: ил.

[292] Бурдаков, А.В., Иванов И.А., Скляров В.Ф. Временная структура электромагнитного излучения в окрестности верхнегибридных частот в экспериментах по пучково-плазменному взаимодействию // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 64. - Библиогр.: 3 назв.

[293] Беклемишев, А.Д. Потоки плазмы в соленоиде с винтовой гофрировкой поля // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 75. - Библиогр.: 2 назв.

[294] Судников А.В., Беклемишев А.Д., Поступаев В.В., Бурдаков А.В., Иванов И.А., Васильева Н.Г., Куклин К.Н., Макаров А.Г., Сидоров Е.Н. Открытая ловушка с винтовым удержанием // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 77. - Библиогр.: 4 назв.

[295] Баткин В.И., Бурдаков А.В., Бурмасов В.С., Иванов И.А., Куклин К.Н., Меклер К.И., Поступаев В.В., Полосаткин С.В., Ровенских А.Ф. Транспортировка плазменной струи в многопробочной ловушке ГОЛ-3 // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 81. - Библиогр.: 2 назв.

[296] Аржанников А.В., Бурмасов В.С., Иванов И.А., Касатов А.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Синицкий С.Л., Скляров В.Ф. Свойства электромагнитного излучения, генерируемого плазмой в ГОЛ-ПЭТ при воздействии релятивистским электронным пучком // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 82. - Библиогр.: 2 назв.

[297] Поступаев В.В., Баткин В.И., Беклемишев А.Д., Бурдаков А.В., Бурмасов В.С., Горбовский А.И., Иванов И.А., Куклин К.Н., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Ровенских А.Ф., Сидоров Е.Н., Черноштанов И.С., Юров Д.В. Статус работ по созданию установки ГОЛ-NB // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 85. - Библиогр.: 5 назв.

[298] Максимов, В. В., Пинженин Е.И. Регистрация выхода DD реакции на установке ГДЛ в режимах с ЭЦР нагревом // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 86. - Библиогр.: 3 назв.

[299] Соломахин А.Л., Багрянский П.А., Викторов М.Е., Господчиков Е.Д., Лубяко Л.В., Мансфельд Д.А., Савкин В.Я., Шалашов А.Г., Яковлев Д.В. Электронный циклотронный резонансный нагрев плазмы в газодинамической ловушке // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 87. - Библиогр.: 4 назв.

[300] Солоха В.В., Курский Г.С., Мухин Е.Е., Толстяков С.Ю., Баженов А.Н., Бабинов Н.А., Букреев И.Н., Дмитриев А.М., Кочергин М.М., Коваль А.Н., Литвинов А.Е., Масюкевич С.В., Раздобарин А.Г., Самсонов Д.С., Семенов В.В., Соловей В.А., Чернаков П.В., Чернаков Ал.П., Чернаков Ан.П., Иваненко С.В., Хильченко А.Д., Пурьга Е.А., Квашнин А.Н. Статус диагностики

томсоновского рассеяния на токамаке Глобус-М // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 98.

[301] Сковородин Д.И., Чернявский А.Т., Багрянский П.А., Мурахтин С.В., Коробейникова О.А., Солдаткина Е.И., Коржавина М.С., Аникеев М.А., Максимов В.В., Лизунов А.А., Дунаевский А., Юшманов П., Беклемишев А.Д. Влияние газовых условий в расширителе ГДЛ на удержание плазмы в центральной ячейке // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 114.

[302] Аникеев М.А., Багрянский П.А., Беклемишев А.Д., Коржавина М.С., Коробейникова О.А., Лизунов А.А., Максимов В.В., Мурахтин С.В., Приходько В.В., Савкин В.Я., Сковородин Д.И., Солдаткина Е.И., Яковлев Д.В. Изучение продольного удержания плазмы в газодинамической ловушке // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 117. - Библиогр.: 2 назв.

[303] Горн А.А., Туев П.В., Лотов К.В., Соседкин А.П. Проблема инжекции электронного пучка в эксперименте AWAKE в ЦЕРН // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 201. - Библиогр.: 2 назв.

[304] Туев П.В., Горн А.А., Лотов К.В., Соседкин А.П. Физика захвата сторонних электронов кильватерной волной при плавном нарастании плотности плазмы // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 262. - Библиогр.: 4 назв.

[305] Астрелин В.Т., Ворбьев М.С., Кандауров И.В., Коваль Н.Н., Куркучеков В.В., Сулакшин С.А., Трунев Ю.А. Экспериментальное сравнение двух подходов к получению интенсивных пучков электронов в диодных системах с плазменным катодом // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 271.

[306] Степанов В.Д., Аржанников А.В., Макаров М.А., Самцов Д.А., Сеницкий С.Л. Измерение

углового разброса электронов сильноточного РЭП // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 272. - Библиогр.: 2 назв.

[307] Аникеева, К.И. Источник ионов водорода для контроля качества углеродной пленки анализатора атомов перезарядки // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 5. (Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук Давыденко В.И.).

[308] Волчок, Е.П. Генерация терагерцового излучения во встречных кильватерных волнах // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 6. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Тимофеев И.В.).

[309] Аракчеев А.С., Батаев В.А., Батаев И.А., Бурдаков А.В., Васильев А.А., Вячеславов Л.Н., Кандауров И.В., Касатов А.А., Куркучеков В.В., Меклер К.И., Попов В.А., Трунев Ю.А. Исследование эрозии вольфрама во время мощной импульсной тепловой нагрузки, создаваемой пучком электронов // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 302. - Библиогр.: 2 назв.

[310] Герман, М.О. Анализатор атомов перезарядки для диагностики плазмы // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 7. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, Полосаткин С.В.).

[311] Горн, А.А. Исследование возбуждения плазменной кильватерной волны большой амплитуды последовательностью коротких электронных сгустков // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 8. (Научный руководитель - д-р физ.-мат. наук Лотов К.В.).

[312] Иванцевский М.В., Александров Е.В., Бурдаков А.В., Воронковский В.А., Гавриленко Д.Е., Горбовский А.И., Егоров В.Л., Зайцев Е.К., Звонков А.В., Землянский Ю.Н., Иванцевская Н.Г., Клименко М.В., Листопад А.А., Люблин Б.В., Манаенкова Ю.А., Модестов В.С., Пешехонов С.Н., Пишинский К.В., Полосаткин С.В., Селезнев П.А., Шешов А.Г., Суляев Ю.С., Таскаев А.С., Усов П.В., Шарафеева С.Р., Шиянков С.В., Шошин А.А. Состояние работ в ИЯФ СО РАН по проекту ИТЭР // XLIV

Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 303.

[313] Курские Г.С., Мухин Е.Е., Толстяков С.Ю., Баженов А.Н., Бабинов Н.А., Букреев И.Н., Дмитриев А.М., Кочергин М.М., Коваль А.Н., Литвинов А.Е., Масюкевич С.В., Раздобарин А.Г., Самсонов Д.С., Семенов В.В., Соловей В.А., Солоха В.В., Чернаков П.В., Чернаков Ал.П., Чернаков Ан.П., Иваненко С.В., Хильченко А.Д., Пурыга Е.А., Квашнин А.Н. Статус диагностики томсоновского рассеяния в диверторе ИТЭР // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 306.

[314] Атлуханов М.Г., Бурдаков А.В., Иванов А.А., Попов С.С., Ушкова М.Ю. Нерезонансный фотонный накопитель для нейтрализации высокоэнергетичного пучка отрицательных ионов водорода // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 315. - Библиогр.: 2 назв.

[315] Листопад А.А., Александров Е.В., Бурдаков А.В., Булаков И.В., Горбовский А.И., Зайцев Е.К., Иванцовский М.В., Манаенкова Ю.А., Модестов В.С., Селезнев П.А., Шагниев О.Б., Шиянков С.В., Шошин А.А. Текущее состояние интеграционных работ по ВП№2 и ВП№8 // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 317.

[316] Сотников О.З., Абдрашитов Г.Ф., Бельченко Ю.И., Дейчули П.П., Иванов А.А., Кондаков А.А., Санин А.Л., Шиховцев И.В. Формирование и транспортировка 1А пучка отрицательных ионов водорода // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 318. - Библиогр.: 1 назв.

[317] Гавриленко Д.Е., Батюнин А.В., Бурдаков А.В., Горбовский А.И., Звонков А.В., Иванцовский М.В., Кашук Ю.А., Обудовский С.Ю., Охлупин Ю.С., Пешехонов С.Н., Стешов А.Г., Шиянков С.В., Шошин А.А. Разработка и проектирование вакуумных вводов для электрических линий связи детекторного модуля ДМНП // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов

докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 319.

[318] Суляев Ю.С., Александров Е.В., Борисов А.А., Бурдаков А.В., Иванцовский М.В., Пищинский К.В., Шарафеева С.Р., Шиянков С.В., Люблин Б.В., Сенник К.С., Танчук В.Н., Гапионов Е.И., Белов А.В., Лабусов А.Н., Хохлов М.В. Результаты инженерных расчетов для экваториального порта №11 ИТЭР // XLIV Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 13 - 17 февраля 2017, г. Звенигород: сборник тезисов докладов. - М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2017. - С. 320.

[319] Данилов, В.В. Изучение влияния мишенной плазмы на фокусировку электронного пучка на ЛИУ // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 9. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Сковородин Д.И.).

[320] Инжеваткина А.А. Исследование плазменной струи установки СМОЛА методами пассивной спектроскопии // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 11. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Судников А.В.).

[321] Колесников Я.А. Изучение влияния пространственного заряда на параметры пучка отрицательных ионов водорода, инжектируемого в ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 12. (Научный руководитель – канд. тех. наук Сорокин И.Н.).

[322] Константинов С.Е. Измерение параметров плазменной струи в установке ГОЛ с помощью высокоразрешающего спектрометра // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 13. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Иванов И.А.).

[323] Коншин, З.Э. Исследование осцилляций плазмы в режимах с ЭЦР нагревом в ГДЛ // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 14. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Приходько В.В.).

[324] Кузьмин, Е.И. Увеличение плотности плазмы геликонного источника // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции:

МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 15. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Шиховцев И.В.).

[325] Никишин, А.В. Характеризация угловой расходимости диагностического пучка для установки ГОЛ-NB // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 18. (Науч. руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Иванов И.А.).

[326] Попов, В.А. Теоретическое моделирование кипения вольфрама при импульсном нагреве // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 21. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Аракчеев А.С.).

[327] Сандалов, Е.С. Подготовка экспериментов по генерации ТГц-излучения в планарном двухстадийном генераторе // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 24. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Синицкий С.Л.).

[328] Содномай, А.Б. Разработка магнитной диагностики для установки ГОЛ-NB // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 25. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Поступаев В.В.).

[329] Соколова Е.О. Изучение влияния высокоэнергетического протонного пучка на конструкционные материалы // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 26. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Макаров А.Н.).

[330] Туев, П.В. Поиск оптимальных параметров лазерного кильватерного ускорения для экспериментов в ИЛФ СО РАН // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 30. (Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент Лотов К.В.).

[331] Харченко, В.А. Исследование формирования и транспортировки пучка отрицательных ионов водорода // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 31. (Научный руководитель – Сотников О.З.).

[332] Христо, М.С. Расчет структуры диамагнитного «пузыря» в открытой ловушке // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 32. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Беклемишев А.Д.).

[333] Шоколов, А.Д. Источник ионов с малой интенсивностью для диагностики анализатора низкоэнергетичных частиц // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика сплошных сред, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 34. (Научный руководитель – Колмогоров А.В.).

[334] Барц, Е.О. Изучение конформной КЭД в рамках подхода БФКЛ // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 5. (Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, член.-корр. РАН, проф. Фадин В.С.).

[335] Богданов, С.А. Изучение процесса $e+e-$ -аннигиляции в $\pi^+\pi^-\pi^0$ с детектором КМД-3 в области энергий ω -мезона // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 6. (Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Федотович Г.В.).

[336] Веревкин, А.Е. Разработка алгоритма реконструкции треков на основе нейронных сетей в жидкокриптоновом калориметре детектора КЕДР // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 7. (Научный руководитель – Максимов Д.А.).

[337] Ганиев, Э.Б. Измерение сечения $e+e\rightarrow\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ с детектором СНД на ВЭПП-2000 // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 9. (Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Харламов А.Г.).

[338] Давыдов, А.Д. Применение гейгеровских лавинных фотодиодов для оптического съема информации в криогенных детекторах // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ,

2017. - С. 10. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Соколов А.В.).

[339] Жабин, В.Н. Аппроксимация сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0$ // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 11. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Харламов А.Г.).

[340] Корнеев, Л.А. Измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ на детекторе СНД // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 12. (Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Дружинин В.П.).

[341] Кудашкин, Д.В. Детектор для изучения быстро протекающих процессов на пучке синхротронного излучения // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 13. (Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Шехтман Л.И.).

[342] Кулиджоглян, В.А. Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K^+ \pi^+$ на детекторе КМД-3 // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 14. (Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Федотович Г.В.).

[343] Литвинов, Р.А. Измерение энергии пучка коллайдера ВЭПП-2000 методом обратного комптоновского рассеяния // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 15. (Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, Ачасов М.Н.).

[344] Майборода, В.А. Изучение возбужденных состояний D_s мезонов в эксперименте Belle // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 16. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Воробьев В.С.).

[345] Маматюков, М.Ю. Сравнительное изучение фотоприёмников для калориметра детектора СНД // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20

апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 17. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Штоль Д.А.).

[346] Чжипэн С., Мальцев Т.В. Измерение сечения рождения BS_0 и B^+ мезонов при энергии $\sqrt{s}=8$ ТэВ // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 18. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Кроковный П.П.).

[347] Толмачев, С.С. Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ на детекторе КМД-3 на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 19. (Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Федотович Г.В.).

[348] Юрченко, А.В. Моделирование и измерение интенсивности потока поляризованных молекул водорода и дейтерия // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физика элементарных частиц, астрофизика и космология, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 21. (Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Топорков Д.К.).

[349] Булгакова, В.В. Исследование распространения поверхностных волн по субволновым структурам в терагерцовом диапазоне // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Фотоника и квантовые оптические технологии, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 8. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Герасимов В.В.).

[350] Гусев, В.А. Исследование возможностей характеристики биомолекул методами эллипсомерии в терагерцовом диапазоне // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Физические методы в естественных науках, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 78. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Чопорова Ю.Ю.).

[351] Барабанов, В.В. Модернизация системы питания выпускного устройства ускорителя электронов // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 7. (Научный руководитель – Власов А.Ю.).

[352] Борин, В.М. Измерение зависимости энергетического разброса пучка от его энергии на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М //

Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 10. (Научный руководитель – д-р. физ.-мат. наук Мешков О.И.).

[353] Малышев, А.М. Исследование импульсных и частотных характеристик аморфного железа для барьерных станций коллайдера NICA (Дубна) // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 15. (Научный руководитель – Крутихин С.А.).

[354] Матвеев, А.С. Расчет и оптимизация канала транспортировки пучка из ВЧ пушки для Новосибирского ЛСЭ // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 16. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Шевченко О.А.).

[355] Осинцева, Н.Д. ТГц пучки с орбитальным угловым моментом: генерация и исследование // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 17. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Чопорова Ю.Ю.).

[356] Петрищев, Н.А. Испытательный стенд для ускорительного масс-спектрометра // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 19. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Растигеев С.А.).

[357] Рабусов, Д.В. Изучение динамической апертуры ускорителя «Collector Ring» для проекта «FAIR» // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 21. (Научный руководитель – Роговский Ю.А.).

[358] Балуев, А.О. Распределенная система мониторинга с резервируемым питанием // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 24. (Научный руководитель – канд. техн. наук Фатькин Г.А.).

[359] Григорьев, А.С. Обработка сигнала с ЖК-калориметра // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 29. (Научный руководитель – канд. техн. наук Юдин Ю.В.).

[360] Жадан, Д.С. Модули отображения данных мониторинга для веб-сайта детектора КМД-3 // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 31. (Научные руководители – Анисенков А. В., канд. физ.-мат. наук Логашенко И.Б.).

[361] Каньшин, А.Н. Автоматизация измерений поперечных размеров пучка в бустере БЭП // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 36. (Научный руководитель – Сенченко А.И.).

[362] Мингулов, К.Т. Пакет DREAM: автоматизация метода многопетлевых вычислений, основанного на рекуррентных соотношениях по размерности пространства-времени // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 40. (Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ли Р.Н.).

[363] Нефедов, В.П. Система контроля потоков данных детектора КМД-3 // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 42. (Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Логашенко И.Б.).

[364] Радченко, О.В. Интерфейс вторичного триггера для вершинного детектора и дрейфовой камеры детектора КЕДР // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 46. (Научный руководитель – Талышев А.А.).

[365] Ремнев, М.А. Энергетическая калибровка электромагнитного калориметра детектора Belle II, используя события космических мюонов // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной

- физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 47. (Науч. Руководитель – канд. физ.-мат. наук Кроковный П.П.).
- [366] Шубина, О.С. Разработка системы доступа к системе архивирования ускорительного комплекса ВЭПП-2000 // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 51. (Научный руководитель – Сенченко А.И.).
- [367] Ма, Сяочао. Диагностика продольного профиля пучка в накопителе-охладителе инжекционного комплекса ИЯФ СО РАН с помощью стрик-камеры и диссектора // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 14. (Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доц. Мешков О.И.).
- [368] Ма, Хунянь. Использование ПЛИС на модуле счетчиков-дискриминаторов детектора ОД-4 // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 39. (Научный руководитель – канд. техн. наук Жуланов В.В.).
- [369] Гао, Чун. СВЧ-модуль блока управления фазой инжекционного комплекса ВЭПП-5 // Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции: МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики, 17 - 20 апреля 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 11. (Научный руководитель – Суханов Д.П.).
- [370] Бывальцев В.А., Степанов И.А., Белых Е.Г., Яруллина А.И. Молекулярные аспекты ангиогенеза в глиобlastомах головного мозга // Вопросы онкологии. - 2017. - Т. 63, № 1. - С. 19-27. - Библиогр.: 49 назв.
- [371] Шарапов В.Н., Кузнецов Г.В., Логачев П.В., Черепанова В.К., Черепанов А.Н. К построению модели динамики сублимирования трещиноватых пород литосферы в мантийном клине под вулканами Авачинской группы (Камчатка) // Геохимия. - 2017. - № 3. - С. 201-223. - Библиогр.: 73 назв. - DOI 10.7868/S0016752517030074.
- [372] Батаев И.А., Лазуренко Д.В., Голковский М.Г., Лаптев И.С., Чакин И.К., Иванчик И.С. Поверхностное легирование титана алюминием с использованием метода вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2017. - № 1 (74). - С. 51-60. - Библиогр.: 18 назв. - DOI 10.17212/1994-6309-2017-1-51-60.
- [373] Драничников, А. Н., Краснов А.А., Семенов А.М. Исследования нераспыляемых геттеров для применения в инжекторах атомов водорода для установок термоядерного синтеза // Прикладная физика. - 2017. - № 2. - С. 73-78. - Библиогр.: 10 назв.
- [374] Полякова И.В., Кобялко В.О., Саруханов В.Я., Козьмин Г.В., Фролова Н.А., Лыков И.Н., Воронин Л.А. Исследование эффективности холодной стерилизации рыбных пресервов электронным излучением в зависимости от дозиметрических параметров облучения // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). - 2017. - Т. 26, № 2. - С. 97-106. - Библиогр.: 21 назв.
- [375] Шевченко, О. А., Винокуров Н.А. Применение метода двухчастичной корреляционной функции к описанию однопроходного лазера на свободных электронах в режиме свертлюминесценции // Известия вузов. Радиофизика. - 2017. - Т. 60, № 1. - С. 41-59. - Библиогр.: 24 назв.
- [376] Долгов, А. Д., Руденко А.С. Реликтовая концентрация миллизаряженных частиц массой около МэВ // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 2017. - Т. 151, № 4. - С. 663-669. - Библиогр.: 30 назв. - DOI 10.7868/S0044451017040046.
- [377] Колмогоров, В.В., Орешонок В.В. Система управления 1-мегаваттным нагревным атомарным инжектором токамака TCV // Приборы и техника эксперимента. - 2017. - № 2. - С. 79-83. - Библиогр.: 6 назв. - DOI 10.7868/S0032816217010335.
- [378] Меклер К.И., Бурдаков А.В., Гавриленко Д.Е., Гарифов С.С., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф. Новая система управления емкостным накопителем многопробочной ловушки ГОЛ-3 // Приборы и техника эксперимента. - 2017. - № 3. - С. 43-48. - Библиогр.: 17 назв. - DOI 10.7868/S0032816217030223.
- [379] Иванов А.А., Приходько В.В. Газодинамическая ловушка: результаты исследований и перспективы // Успехи физических наук. - 2017. - Т. 187, № 5. - С. 547-576. - Библиогр.: 130 назв. - DOI 10.3367/UFNr.2016.09.037967.
- [380] Saraev A.A., Vinokurov Z.S., Kaichev V.V., Shmakov A.N., Bukhtiyarov V.I. The origin of self-sustained reaction-rate oscillations in the oxidation of methane over nickel: An operando XRD and mass spectrometry study // Catalysis Science and Technology. - 2017. - Vol. 7, № 8. - P. 1646-1649. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1039/c6cy02673g.
- [381] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Luminosity measurements for the R scan experiment at BESIII // Chinese Physics C. - 2017. - Vol. 41, № 6. - Art.nr 063001. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1088/1674-1137/41/6/063001.

[382] Ragozin A., Zedgenizov D., Kuper K., Kalinina V., Zemnukhov A. The internal structure of yellow cuboid diamonds from alluvial placers of the northeastern siberian platform // *Crystals*. - 2017. - Vol. 7, № 8. - Art.nr 238. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.3390/cryst7080238.

[383] Grozin, A.G. Heavy-quark form factors in the large β_0 limit // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 7. - Art.nr 453. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5021-4.

[384] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of electroweak W_{jj} production and constraints on anomalous gauge couplings with the ATLAS detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 7. - Art.nr 474. - Bibliogr.: 87 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5007-2.

[385] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Topological cell clustering in the ATLAS calorimeters and its performance in LHC Run 1 // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 7. - Art.nr 490. - Bibliogr.: 59 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5004-5.

[386] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Jet reconstruction and performance using particle flow with the ATLAS Detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 7. - Art.nr 466. - Bibliogr.: 66 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5031-2.

[387] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of the production cross section of a Z boson in association with jets in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 6. - Art.nr 361. - Bibliogr.: 82 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4900-z.

[388] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P.,

Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for dark matter at $\sqrt{s}=13$ TeV in final states containing an energetic photon and large missing transverse momentum with the ATLAS detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 6. - Art.nr 393. - Bibliogr.: 85 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4965-8.

[389] Adamova, D., ALICE Collab., Pestov Y. Production of $\Sigma(1385)^{\pm}$ and $\Xi(1530)^0$ in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 6. - Art.nr 389. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4943-1.

[390] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of multi-particle azimuthal correlations in pp, p + Pb and low-multiplicity Pb + Pb collisions with the ATLAS detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 6. - Art.nr 428. - Bibliogr.: 84 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4988-1.

[391] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of jet fragmentation in Pb+Pb and pp collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector at the LHC // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 6. - Art.nr 379. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4915-5.

[392] Acharya, S., ALICE Collab., Pestov Y. Energy dependence of forward-rapidity J/ψ and $\psi(2S)$ production in pp collisions at the LHC // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 6. - Art.nr 392. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4940-4.

[393] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of jet activity produced in top-quark events with an electron, a muon and two b-tagged jets in the final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 5. - Art.nr 317. - Bibliogr.: 60 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4766-0.

[394] Acharya S., ALICE Collab., Pestov Y. Production of π^0 and η mesons up to high transverse momentum in pp collisions at 2.76 TeV // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 5. - Art.nr 339. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4890-x.

- [395] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Reconstruction of primary vertices at the ATLAS experiment in Run 1 proton-proton collisions at the LHC // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 5. - Art.nr 332. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4887-5.
- [396] Burdakov A.V., Bashkirtsev A.G., Kuznetsov A.S., Aleynik V.I., Astrelin V.T., Ovtin I.V., Sulyaev Y.S. Studying the energy stability of a vacuum-insulated tandem accelerator using γ -resonance reactions // *Instruments and Experimental Techniques*. - 2017. - Vol. 60, № 4. - P. 522-525. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1134/S0020441217040029.
- [397] Mekler K.I., Burdakov A.V., Gavrilenko D.E., Garifov S.S., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F. A new control system for the capacitive energy storage of the GOL-3 multiple-mirror trap // *Instruments and Experimental Techniques*. - 2017. - Vol. 60, № 3. - P. 345-350. - Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.1134/S0020441217030228.
- [398] Toporkov D.K., Gramolin A.V., Zevakov S.A., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.S., Shestakov Y.V. Production of polarized molecules of hydrogen isotopes // *JETP Letters*. - 2017. - Vol. 105, № 5. - P. 289-291. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1134/S0021364017050125.
- [399] Petrov A.I., Dergachev I.D., Golovnev N.N., Kondrasenko A.A., Erenburg S.B., Trubina S.V. Reactions of dl-homocystine and 3,3'-dithiodipropionic acid with Pd(II) in aqueous hydrochloric solutions. Part I: coordination model // *Journal of Coordination Chemistry*. - 2017. - Vol. 70, № 13. - P. 2280-2293. - Bibliogr.: 58 ref. - DOI 10.1080/00958972.2017.1353083.
- [400] Zadereev E., Lopatina T., Oskina N., Zotina T., Petrichenkov M., Dementyev D. Gamma irradiation of resting eggs of *Moina macrocopa* affects individual and population performance of hatchlings // *Journal of Environmental Radioactivity*. - 2017. - Vol. 175-176. - P. 126-134. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1016/j.jenvrad.2017.05.002.
- [401] Dolgov A.D., Rudenko A.S. Relic abundance of MeV millicharged particles // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. - 2017. - Vol. 124, № 4. - P. 564-569. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1134/S1063776117030116.
- [402] Adam, J., ALICE Collab., Pestov Y. Measurement of electrons from beauty-hadron decays in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 7. - Art.nr 52. - Bibliogr.: 102 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2017)052.
- [403] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for dark matter produced with an energetic jet or a hadronically decaying W or Z boson at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 7. - Art.nr 14. - Bibliogr.: 103 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2017)014.
- [404] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for third-generation scalar leptoquarks and heavy right-handed neutrinos in final states with two tau leptons and two jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 7. - Art.nr 121. - Bibliogr.: 59 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2017)121.
- [405] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for associated production of a Z boson with a single top quark and for tZ flavour-changing interactions in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 7. - Art.nr 3. - Bibliogr.: 74 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2017)003.
- [406] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Studies of $Z\gamma$ production in association with a high-mass dijet system in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 7. - Art.nr 107. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2017)107.
- [407] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for new physics with dijet angular distributions in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 7. - Art.nr 13. - Bibliogr.: 90 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2017)013.
- [408] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the decay $B_s^0 \rightarrow \eta_c \phi$ and evidence for $B_s^0 \rightarrow \eta_c \pi^+ \pi^-$ // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 7. - Art.nr 21. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2017)021.
- [409] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for $t \bar{t}$ resonances in highly boosted lepton+jets and fully hadronic final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 7. - Art.nr 1. - Bibliogr.: 79 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2017)001.
- [410] Adam, J., ALICE Collab., Pestov Y. Addendum to: Centrality dependence of high-pT D-meson suppression in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 6. - Art.nr 32. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1007/JHEP06(2017)032.

[411] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Measurement of electroweak-induced production of $W\gamma$ with two jets in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV and constraints on anomalous quartic gauge couplings // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 6. - Art.nr 106. - Bibliogr.: 79 ref. - DOI 10.1007/JHEP06(2017)106.

[412] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the J/ψ pair production cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 6. - Art.nr 47. - Bibliogr.: 124 ref. - DOI 10.1007/JHEP06(2017)047.

[413] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurements of prompt charm production cross-sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 5$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 6. - Art.nr 147. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1007/JHEP06(2017)147.

[414] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the decay $\Lambda_b^0 \rightarrow pK^-\mu^+\mu^-$ and a search for CP violation // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 6. - Art.nr 108. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1007/JHEP06(2017)108.

[415] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Erratum to: Measurements of prompt charm production cross-sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 5. - Art.nr 74. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2017)074.

[416] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for the $B_s^0 \rightarrow \eta'\phi$ decay // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 5. - Art.nr 158. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2017)158.

[417] Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Berkaev D.E., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G.V., Gayazov S.E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kasaev A.S., Koop I.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lysenko A.P., Lukin P.A., Mikhailov K.Y., Okhapkin V.S., Pestov Y.N., Perevedentsev E.A., Popov A.S., Razuvaev G.P., Rogovsky Y.A., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenkov A.E., Shatunov Y.M., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D.B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A.,

Vorobiov A.I., Yudin Y.V. Z-chamber of the CMD-3 detector in the reconstruction of the track longitudinal coordinate // *Journal of Instrumentation*. - 2017. - Vol. 12, № 7, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C07044. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/07/C07044.

[418] Surin I.K., Zhulanov V.V., Achasov M.N., Aulchenko V.M., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Korol A.A., Bogdanchikov A.G., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Tekut'ev A.I., Usov Y.V. Development of the new spectrometric channel for the SND electromagnetic calorimeter // *Journal of Instrumentation*. - 2017. - Vol. 12, № 7, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C07043. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/07/C07043.

[419] Barnyakov A.Y., Barnyakov M.Y., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Kuyanov I.A., Onuchin A.P., Ovtin I.V., Tayursky V.A. Simulation of the ASHIPH Cherenkov counters of the KEDR detector // *Journal of Instrumentation*. - 2017. - Vol. 12, № 7, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C07041. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/07/C07041.

[420] Ryzhenkov A.E., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Berkaev D.E., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G.V., Gayazov S.E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kasaev A.S., Koop I.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lysenko A.P., Lukin P.A., Mikhailov K.Y., Okhapkin V.S., Pestov Y.N., Perevedentsev E.A., Popov A.S., Razuvaev G.P., Rogovsky Y.A., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Shatunov Y.M., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D.B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Y.V. Current status of luminosity measurement with the CMD-3 detector // *Journal of Instrumentation*. - 2017. - Vol. 12, № 7, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C07040. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/07/C07040.

[421] Shekhtman L., Aulchenko V., Bobrovnikov V., Bondar A., Fedotov G., Kudryavtsev V., Maltsev T., Nikolenko D., Rachek I., Zhilich V., Zhulanov V.

High resolution micro-pattern gas detectors for particle physics // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 7, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C07037. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/07/C07037.

[422] Bobrovnikov V.S., Kudryavtsev V.N., Maltsev T.V., Shekhtman L.I. Development of high-resolution GEM-based detector for the extracted electron beam facility at the VEPP-4M collider // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 7, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C07036. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/07/C07036.

[423] Rezanova, O. L., Shamov A.G., Zhilich V.N. Calibration of the KEDR detector Tagging System with two-photon lepton pair production // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 7, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C07034. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/07/C07034.

[424] Cecchi C., Aloisio A., Baccaro S., Branchini P., Cemmi A., Lucia E.D., Nardo G.D., Sangro R.D., Epifanov D., Finocchiaro G., Fiore S., Giordano R., Kuzmin A.S., Manoni E., Merola M., Oberhof B., Passeri A., Peruzzi I.M., Piccolo M., Rossi A., Tagnani D. The BELLE Electromagnetic Calorimeter and its Upgrade to BelleII // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 7, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C07032. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/07/C07032.

[425] Kozyrev A.N., Ruban A.A., Amerhanov A.N., Fedotov G.V., Gribov S.S., Popov A.S., Ryskulov N.M., Ryzhenkov A.E., Shemyakin D.N., Tolmachev S.S. The electronics for TOF system of the CMD-3 detector // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 7, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C07027. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/07/C07027.

[426] Batrakov, A.M., Pavlenko A.V. Precise digital integration in wide time range: Theory and realization // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 7, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia,

27 February - 3 March 2017. - Art.nr C07012. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/07/P07012.

[427] Oleynikov, V., Porosev V. After-pulsing and cross-talk comparison for PM1125NS-SB0 (KETEK), S10362-11-100C (HAMAMATSU) and S13360-3050CS (HAMAMATSU) // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 6, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C06046. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/06/C06046.

[428] Achasov M.N., Kupich A.S. Separation of $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ and $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ events based on the difference in the energy deposition profiles in SND detector calorimeter // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 6, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C060435. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/06/C06035.

[429] Chakin I., Golkovskiy M., Kuzmin A., Matvienko D., Sedov E., Shwartz B. Radiation hardness study of CsI(Tl) scintillation crystals for the Belle II calorimeter // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 6, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C06034. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/06/C06034.

[430] Kudryavtsev, V. N., Maltsev T.V., Shekhtman L.I. Limits of a spatial resolution of the cascaded GEM based detectors // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 6, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C06015. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/06/C06015.

[431] Arakcheev A., Aulchenko V., Kudashkin D., Shekhtman L., Tolochko B., Zhulanov V. Development of a silicon microstrip detector with single photon sensitivity for fast dynamic diffraction experiments at a synchrotron radiation beam // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 6, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C06002. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/06/C06002.

[432] Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Frolov E., Nosov V., Oleynikov V., Shekhtman L., Shemyakina E., Sokolov A. Further studies of proportional electroluminescence in two-phase argon // Journal of

Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 5, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C05016. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/05/C05016.

[433] Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Grishnyaev E., Nosov V., Oleynikov V., Polosatkin S., Shekhtman L., Shemyakina E., Sokolov A. Measurement of the ionization yield of nuclear recoils in liquid argon using a two-phase detector with electroluminescence gap // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 5, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C05010. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/05/C05010.

[434] Aulchenko, V., Shekhtman L., Zhulanov V. A 64-channel integrated circuit for signal readout from coordinate detectors // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 5, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C05004. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/05/C05004.

[435] Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Frolov E., Nosov V., Shekhtman L., Sokolov A. Study of cryogenic photomultiplier tubes for the future two-phase cryogenic avalanche detector // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 5, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C05002. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/05/C05002.

[436] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Performance of the ATLAS Transition Radiation Tracker in Run 1 of the LHC: Tracker properties // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 5. - Art.nr P05002. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/05/P05002.

[437] Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Bashtovoy N.S., Bondar A.E., Grebenuk A.A., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Kovalenko O.A., Kozryev A.N., Kuzmin A.S., Mikhailov K.Yu., Logashenko I.B., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Shebalin V.E., Shwartz B.A., Talyshev A.A., Titov V.M., Yudin Yu.V. Energy calibration of the barrel calorimeter of the CMD-3 detector // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 4. - Art.nr P04011. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/04/P04011.

[438] Adam J., ALICE Collab., Pestov Y. Enhanced production of multi-strange hadrons in high-multiplicity proton-proton collisions // Nature Physics. - 2017. - Vol. 13, № 6. - P. 535-539. - DOI 10.1038/nphys4111.

[439] Toporkov D.K., Gramolin A.V., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.S., Shestakov Y.V., Yurchenko A.V., Zevakov S.A. Source of polarized hydrogen molecules // Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A. - 2017. - Vol. 868. - P. 15-18. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2017.06.038.

[440] Milstein, A.I., Salnikov S.G. Interaction of real and virtual $pp\bar{I}$ pairs in $J/\psi \rightarrow p\bar{p}\gamma(\rho,\omega)$ decays // Nuclear Physics A. - 2017. - Vol. 966. - P. 54-63. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2017.06.002.

[441] Kazakov V.V., Kazakov V.G., Kovalev V.S., Meshkov O.I., Yatsenko A.S. Electronic structure of atoms information system: Current status and development trends // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2017. - Vol. 53, № 2. - P. 136-144. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.3103/S8756699017020054.

[442] Bogomyagkov, A., Levichev E. Collision monochromatization in e+e- colliders // Physical Review Accelerators and Beams. - 2017. - Vol. 20, № 5. - Art.nr 051001. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1103/PhysRevAccelBeams.20.051001.

[443] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Measurement of inclusive jet cross sections in pp and PbPb collisions at $\sqrt{s}NN = 2.76$ TeV // Physical Review C. - 2017. - Vol. 96, № 1. - Art.nr 015202. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.96.015202.

[444] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Korol A.A., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Y.A. Measurement of forward-backward multiplicity correlations in lead-lead, proton-lead, and proton-proton collisions with the ATLAS detector // Physical Review C. - 2017. - Vol. 95, № 6. - Art.nr 064914. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.95.064914.

[445] Adam J., ALICE Collab., Pestov Y. $K^*(892)^0$ and $\phi(1020)$ meson production at high transverse momentum in pp and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s}NN = 2.76$ TeV // Physical Review C. - 2017. - Vol. 95, № 6. - Art.nr 064606. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.95.064606.

[446] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Evidence for the singly Cabibbo suppressed decay $\Lambda_c^+ \rightarrow p\eta$ and search for $\Lambda_c^+ \rightarrow p\eta^0$ // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 11. - Art.nr 111102. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.111102.

[447] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G.,

- Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of integrated and differential cross sections for isolated photon pair production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 11. - Art.nr 112005. - Bibliogr.: 63 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.112005.
- [448] Chilikin K., Belle Collab., Aulchenko V., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V. Observation of an alternative $\chi_{c0}(2P)$ candidate in $e^+e^- \rightarrow J/\psi D \bar{D}$ // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 11. - Art.nr 112003. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.112003.
- [449] Prasanth K., Belle Collab., Aulchenko V., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Observation of an alternative $\chi_{c0}(2P)$ candidate in $e^+e^- \rightarrow J/\psi D \bar{D}$ // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 9. - Art.nr 091101. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.112003.
- [450] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Lukin P.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Y.I., Solodov E.P., Todyshev K.Y. Measurement of the $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^m \pi^0$ and $K_S^0 K^\pm \pi^m \eta$ cross sections using initial-state radiation // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 9. - Art.nr 092005. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.092005.
- [451] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Measurement of differential cross sections for top quark pair production using the lepton+jets final state in proton-proton collisions at 13 TeV // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 9. - Art.nr 092001. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.092001.
- [452] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Improved measurements of branching fractions for $\eta c \rightarrow \varphi \varphi$ and $\omega \varphi$ // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 9. - Art.nr 092004. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.092004.
- [453] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Measurement of higher-order multipole amplitudes in $\psi(3686) \rightarrow \gamma \chi_{c1,2}$ with $\chi_{c1,2} \rightarrow \gamma J/\psi$ and search for the transition $\eta c(2S) \rightarrow \gamma J/\psi$ // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 7. - Art.nr 072004. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.072004.
- [454] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Amplitude analysis of $D^0 \rightarrow K^-\pi^+\pi^+\pi^-$ // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 7. - Art.nr 072010. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.072010.
- [455] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Search for the radiative leptonic decay $D^+ \rightarrow \gamma e^+ \nu_e$ // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 7. - Art.nr 071102. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.071102.
- [456] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Y.I., Solodov E.P., Todyshev K.Y. Measurement of the inclusive electron spectrum from B meson decays and determination of $|V_{ub}|$ // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 7. - Art.nr 072001. - Bibliogr.: 73 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.072001.
- [457] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the t t production cross section in the τ +jets final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 7. - Art.nr 072003. - Bibliogr.: 78 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.072003.
- [458] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Y.I., Solodov E.P., Todyshev K.Y. Dalitz plot analyses of $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, $J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^0$, and $J/\psi \rightarrow K_S^0 K^\pm \pi^m$ produced via e^+e^- annihilation with initial-state radiation // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 7. - Art.nr 072007. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.072007.
- [459] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for long-lived scalar particles in $B^+ \rightarrow K^+ \chi(\mu^+\mu^-)$ decays // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 7. - Art.nr 071101. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.071101.
- [460] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the B^\pm production asymmetry and the CP asymmetry in $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$ decays // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 95, № 5. - Art.nr 052005. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.052005.
- [461] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Y.I., Solodov E.P., Todyshev K.Y. Cross sections for the reactions $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K \ell^0 \pi^0$, $K_S^0 K \ell^0 \eta$, and $K_S^0 K \ell^0 \pi^0 \pi^0$ from events with initial-state radiation //

Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 5. - Art.nr 052001. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.052001.

[462] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Study of J/ψ and $\psi(3686)$ decay to $\bar{\Lambda}\Lambda$ and $\bar{\Sigma}^0\Sigma^0$ final states // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 5. - Art.nr 052003. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.052003.

[463] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurements of charm mixing and CP violation using $D^0 - K^\pm \pi$ decays // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 5. - Art.nr 052004. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.052004.

[464] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Measurements of differential cross sections for associated production of a W boson and jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 5. - Art.nr 052002. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.052002.

[465] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of $B_{c^+} \rightarrow j/\psi D^{(*)} K^{(*)}$ decays // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 3. - Art.nr 032005. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.032005.

[466] Singh B., PANDA Collab., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Beloborodov K.I., Blinov V.E., Bobrovnikov V.S., Kuyanov I.A., Martin K.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Sokolov A.A., Tikhonov Yu.A. Feasibility study for the measurement of πN transition distribution amplitudes at PANDA in $\bar{p}p \rightarrow j/\psi \pi^0$ // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 3. - Art.nr 032003. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.032003.

[467] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Amplitude analysis of the $\chi_{c1} \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-$ decays // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 3. - Art.nr 032002. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.032002.

[468] Kozlov, M.G. One-loop pentagon integral with one off-shell leg in $6-2\epsilon$ dimensions // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 3. - Art.nr 036008. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.036008.

[469] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for anomalous electroweak production of WW/WZ in association with a high-mass di-jet system in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 3. - Art.nr 032001. - Bibliogr.: 74 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.032001.

[470] Chashchina, O., Foot R., Silagadze Z. Radial acceleration relation and dissipative dark matter // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 2. - Art.nr 023009. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.023009.

[471] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Search for supersymmetry in events with one lepton and multiple jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 1. - Art.nr 012011. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.012011.

[472] Lai Y.-T., Belle Collab., Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Matvienko D., Shebalin V., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Search for D^0 decays to invisible final states at Belle // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 1. - Art.nr 011102. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.011102.

[473] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Amplitude analysis of $B^+ \rightarrow J/\psi \phi K^+$ decays // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 1. - Art.nr 012002. - Bibliogr.: 62 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.012002. Aaij R., LHCb Collab.,

[474] Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the decay $B_s^0 \rightarrow \phi \pi^+ \pi^-$ and evidence for $B^0 \rightarrow \phi \pi^+ \pi^-$ // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 1. - Art.nr 012006. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.012006.

[475] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Inclusive search for supersymmetry using razor variables in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 1. - Art.nr 012003. - Bibliogr.: 100 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.012003.

[476] Jia S., Belle Collab., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Search for the 0^- glueball in $Y(1S)$ and $Y(2S)$ decays // Physical Review D. - 2017. - Vol. 95, № 1. - Art.nr 012001. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.95.012001.

[477] Terekhov I.S., Reznichenko A.V., Kharkov Y.A., Turitsyn S.K. Log-log growth of channel capacity for nondispersive nonlinear optical fiber channel in intermediate power range // Physical Review E. - 2017. - Vol. 95, № 6. - Art.nr 062133. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1103/PhysRevE.95.062133.

[478] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First Observation of a Baryonic B_{s0} Decay // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 119, № 4. - Art.nr 041802. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.041802.

[479] Hempelmann N., JEDI Collab., Koop I.A. Phase Locking the Spin Precession in a Storage Ring // Physical

Review Letters. - 2017. - Vol. 119, № 1. - Art.nr 014801. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.014801. - e-Print: arXiv: 1703.07561.

[480] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Measurement of the CP Violation Parameter A_Γ in $D^0 \rightarrow K^+K^-$ and $D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ Decays // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 26. - Art.nr 261803. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.261803.

[481] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Search for the Decays $B_s^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$ and $B^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$ // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 25. - Art.nr 251802. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.251802.

[482] Adamova D., ALICE Collab., Pestov Y. Azimuthally Differential Pion Femtoscopy in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 22. - Art.nr 222301. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.222301.

[483] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Observation of $\psi(3686) \rightarrow e^+e^- \chi_{cJ}$ and $\chi_{cJ} \rightarrow e^+e^- J/\psi$ // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 22. - Art.nr 221802. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.221802.

[484] Hirose S., Belle Collab., Aulchenko V., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Matvienko D., Shebalin V., Usov Y., Zhilich V., Zhulanov V. Measurement of the τ Lepton Polarization and $R(D^*)$ in the Decay $B \rightarrow d^*\tau^- \nu_\tau$ // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 21. - Art.nr 211801. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.211801.

[485] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Measurement of the $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ Branching Fraction and Effective Lifetime and Search for $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ Decays // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 19. - Art.nr 191801. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.191801.

[486] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V., Yuan X. Study of J/ψ Production in Jets // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 118, № 19. - Art.nr 192001. - Bibliogr.: 65 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.118.192001.

[487] Chashchina, O. I., Silagadze Z.K. On the quantum mechanical derivation of the Wallis formula for π // Physics Letters A. - 2017. - Vol. 381, № 32. - P. 2593-2597. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.physleta.2017.06.016.

[488] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for anomalous couplings in

boosted $WW/WZ \rightarrow \ell\nu qq^-$ production in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 772. - P. 21-42. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.06.009.

[489] Adam J., ALICE Collab., Pestov Y. Centrality dependence of the pseudorapidity density distribution for charged particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 772. - P. 567-577. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.07.017.

[490] Adam J., ALICE Collab., Pestov Y. Measurement of the production of high-pT electrons from heavy-flavour hadron decays in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 771. - P. 467-481. - Bibliogr.: 101 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.05.060.

[491] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Measurement of the differential inclusive B+ hadron cross sections in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 771. - P. 435-456. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.05.074.

[492] Bryzgunov M.I., Kamerdzhev V., Li J., Mao L.J., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Yang X.D., Zhao H. Bunch beam cooling // Physics of Particles and Nuclei Letters. - 2017. - Vol. 14, № 4. - P. 615-623. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1134/S1547477117040045.

[493] Shalashov A.G., Solomakhin A.L., Gospodchikov E.D., Lubyako L.V., Yakovlev D.V., Bagryansky P.A. Electron cyclotron emission at the fundamental harmonic in GDT magnetic mirror // Physics of Plasmas. - 2017. - Vol. 24, № 8. - Art.nr 082506. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1063/1.4994793.

[494] Gospodchikov, E.D., Kutlin A.G., Shalashov A.G. Plasma heating and coupling of electromagnetic waves near the upper-hybrid resonance in high- β devices // Plasma Physics and Controlled Fusion. - 2017. - Vol. 59, № 6. - Art.nr 065003. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1088/1361-6587/aa66d6.

[495] Polyakova I.V., Kobyal'ko V.O., Sarukhano V.Ya., Koz'min G.V., Frolova N.A., Lykov I.N., Voronin L.A. Influence of dose characteristics on efficiency of electron beam sterilization of fish preserves // Radiation and Risk. - 2017. - Vol. 26, № 2. - P. 97-106. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.21870/0131-3878-2017-26-2-97-106.

[496] Savkin, V.Y., Lizunov A.A. Note: Diagnostic deuterium beam with an ultra-small energy spread for plasma spectroscopy // Review of Scientific Instruments. - 2017. - Vol. 88, № 7. - Art.nr 076109. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1063/1.4995356.

[497] Byvaltsev V.A., Stepanov I.A., Belykh E.G., Yarullina A.I. Molecular aspects of angiogenesis in brain glioblastomas // Voprosy Onkologii. - 2017. - Vol. 63, № 1. - P. 19-27. - Bibliogr.: 48 ref.

[498] Alyakrinskiy, O.N., Logachev P.V., Semenov Y.I. Investigation of the process of electron beam welding in an external magnetic field // Welding

International. - 2017. - Vol. 31, Is. 8. - P. 604-607. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1080/09507116.2017.1285543.

[499] Achasov M.N., Barnyakov A.Y., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Korol A.A., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Kupich A.S., Martin K.A., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Serednyakov S.I., Shtol D.A., Silagadze Z.K., Surin I.K., Usov Y.V., Vasiljev A.V. Recent results from SND detector at VEPP-2000 collider // Nuclear and Particle Physics Proceedings. - 2017. - Vol. 287-288: The 14th International Workshop on Tau Lepton Physics, Institute of High Energy Physics, Beijing, China, 19–23 September 2016. - P. 57-60. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysbps.2017.03.044.

[500] Bobrov, A., Belle Collab. Study of $\tau^- \rightarrow h^- h^+ \nu_\tau$ decays // Nuclear and Particle Physics Proceedings. - 2017. - Vol. 287-288: The 14th International Workshop on Tau Lepton Physics, Institute of High Energy Physics, Beijing, China, 19–23 September 2016. - P. 221-223. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysbps.2017.04.001.

[501] Epifanov, D. A., Belle Collab. Measurement of Michel parameters in leptonic τ decays at Belle // Nuclear and Particle Physics Proceedings. - 2017. - Vol. 287-288: The 14th International Workshop on Tau Lepton Physics, Institute of High Energy Physics, Beijing, China, 19–23 September 2016. - P. 7-10. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysbps.2017.03.033.

[502] Мешков, О.И., Попов С.С., Смалюк В.В. Измерение поперечных размеров пучка // Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. - Кн. 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - С. 6-18. - Библиогр.: 16 назв.

[503] Мешков, О.И., Попов С.С., Смалюк В.В. Измерение при помощи камеры-обскуры // Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. - Кн. 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - С. 19-24. - Библиогр.: 2 назв.

[504] Мешков, О.И., Попов С.С., Смалюк В.В. Интерферометрические измерения // Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. - Кн. 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - С. 25-34. - Библиогр.: 7 назв.

[505] Мешков, О.И., Попов С.С., Смалюк В.В. Измерение продольного распределения профиля плотности пучка с помощью диссектора и стрик-камеры // Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений. - Москва: ФИЗМАТЛИТ,

2017. - Кн. 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - С. 35-45. - Библиогр.: 8 назв.

[506] Верещагин А.К., Воробьев Н.С., Горностаев П.Б., Дорохов В.Л., Крюков С.С., Лозовой В.И., Мешков О.И., Никифоров Д.А., Смирнов А.В., Шашков Е.В., Щелев М.Я. Об эффективности применения пикосекундных стрик-камер для изучения синхротронного излучения // Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. - Кн. 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - С. 48-56. - Библиогр.: 10 назв.

[507] Логачев П.В., Мешков О.И., Старостенко А.А., Никифоров Д.А., Андрианов А.В., Мальцева Ю.И., Левичев А.Е., Еманов Ф.А. Методы неразрушающей диагностики пучков заряженных частиц в ускорителях // Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. - Кн. 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - С. 65-120. - Библиогр.: 76 назв.

[508] Верещагин К.А., Воробьев Н.С., Горностаев П.Б., Зинин Э.И., Иванова С.Р., Кулеченкова Т.П., Левина Г.П., Лозовой В.И., Макушина В.А., Мешков О.И., Михальков Ю.М., Семичастнова З.М., Смирнов А.В., Шашков Е.В., Щелев М.Я. Лазерная диагностика пикосекундных стрик-трубок с люминесцентными экранами из быстрых люминофоров // Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. - Кн. 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - С. 134-141. - Библиогр.: 17 назв.

[509] Верещагин К.А., Горностаев П.Б., Иванова С.Р., Кулеченкова Т.П., Левина Г.П., Макушина В.А., Мешков О.И., Смирнов А.В., Шашков Е.В., Щелев М.Я. О времени затухания люминесцентных экранов пикосекундных ЭОП при регистрации повторяющихся сигналов в режиме накопления // Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. - Кн. 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - С. 142-146. - Библиогр.: 8 назв.

[510] Zinin E.I., Anchugov O.V., Dorokhov V.L., Kurkin G.Ya., Meshkov O.I., Petrozhitsky A.V., Shvedov D.A., Gornostaev P. B., Zarovskii A.I., Shashkov E. V., Smirnov A.V., Schelev M.Ya. Direct temporal-resolution calibration of new-generation dissector // Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. - Кн. 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - С. 147-153. - Bibliogr.: 9 ref.

- [511] Анчугов О.В., Дорохов В.Л., Куркин Г.Я., Зинин Э.И., Молявин П.А., Мешков О.И., Шведов Д.А., Петрожицкий А.В., Горностаев П.Б., Заровский А.И., Шашков Е.В., Смирнов А.В., Щелев М.Я. Калибровка пикосекундного электронно-оптического диссектора // Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. - Кн. 3: Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - С. 184-193. - Библиогр.: 14 назв.
- [512] Katkov, V.M. Polarization tensor of a photon in an electric field // Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. B. - 2017. - Vol. 402: Proceedings of the 7th International Conference Channeling 2016: Charged & Neutral Particles Channeling Phenomena, Sirmione & Desenzano del Garda, Italy, September 25 - 30, 2016. - P. 118-120. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1016/j.nimb.2017.03.080.
- [513] Shevchenko, O. A., Vinokurov N.A. Application of the Two-Particle Correlation Function Approach to the Description of a Single-Pass Free Electron Laser Operated in SASE Mode // Radiophysics and Quantum Electronics. - 2017. - Vol. 60, № 1. - P. 37-53. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1007/s11141-017-9775-1.
- [514] Ivanov A.A., Prikhodko V.V. Gas dynamic trap: Experimental results and future prospects // Physics-Uspkhi. - 2017. - Vol. 60, № 5. - P. 509-533. - Bibliogr.: 163 ref. - DOI 10.3367/UFNe.2016.09.037967.
- [515] Polosatkin S., Batkin V., Burdakov A., Ivanov I., Kalinin P., Kotelnikov I., Mekler K., Melnikov N., Postupaev V., Sidorov E. Study of Coupling of 2.45 GHz Electromagnetic Waves with Dense Plasma in Strong Magnetic Field [Electronic resource] // Proceedings of the XXXIII International Conference on Phenomena in Ionized Gases: ICPIG 2017, Estoril, Portugal, 9-14 July 2017. - Lisbon, 2017. - P. 105.
- [516] Dudnikov, V. G., Dudnikov A.V. Acceleration System of Beam Brightness Booster [Electronic resource] // NAPAC 2016: North American Particle Accelerator Conference, Chicago, IL, USA, 9-14 October, 2016. - S.l.: JACoW, 2017. - Art.nr WEPOA44. - P. 796-798. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.18429/JACoW-NAPAC2016-WEPOA44.
- [517] Parkhomchuk, V.V. New Coolers for Ion Ion Colliders [Electronic resource] // NAPAC 2016: North American Particle Accelerator Conference, Chicago, IL, USA, 9-14 October, 2016. - S.l.: JACoW, 2017. - Art.nr WEPOA06. - P. 700-702. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.18429/JACoW-NAPAC2016-WEPOA06.
- [518] Turner M., Petrenko A., Gschwendtner E., Lotov K.V., Sosedkin A. Proton Beam Defocusing as a Result of Self-Modulation in Plasma [Electronic resource] // NAPAC 2016: North American Particle Accelerator Conference, Chicago, IL, USA, 9-14 October, 2016. - S.l.: JACoW, 2017. - Art.nr WEPOA09. - P. 707-709. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.18429/JACoW-NAPAC2016-WEPOA09.
- [519] Ogur S., Furukawa K., Iida N., Miyahara F., Oide K., Papaphilippou Y., Zimmermann F., Barnyakov A.M., Levichev A.E., Nikiforov D.A. Towards a Preliminary FCC-ee Injector Design [Electronic resource] // eeFACT2016: Proceedings of the 58th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e^+e^- Colliders, The Cockcroft Institute in Daresbury, United Kingdom, 24–27 October 2016. - S.l.: JACoW, 2017. - Art.nr TUT2H5. - P. 90-93. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2016-TUT2H5.
- [520] Shwartz D., Berkaev D., Koop I., Perevedentsev E., Rogovsky Yu., Shatunov P., Shatunov Yu. Implementation of Round Colliding Beams Concept at VEPP-2000 [Electronic resource] // eeFACT2016: Proceedings of the 58th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e^+e^- Colliders, The Cockcroft Institute in Daresbury, United Kingdom, 24–27 October 2016. - S.l.: JACoW, 2017. - Art.nr MOT3AH3. - P. 32-38. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2016-MOT3AH3.
- [521] Muchnoi, N.Yu. Measurement of Beam Polarization and Beam Energy in One Device [Electronic resource] // eeFACT2016: Proceedings of the 58th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e^+e^- Colliders, The Cockcroft Institute in Daresbury, United Kingdom, 24 - 27 October 2016. - S.l.: JACoW, 2017. - Art.nr WET1H4. - P. 168-172. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2016-WET1H4.
- [522] Borin V.M., Dorokhov V.L., Kiselev V.A., Kurkin G.Y., Meshkov O.I., Nikitin S.A., Piminov P.A., Sinyatkin S.V. The Logitudinal Broadband Impedance and Energy Spread Measurements at the VEPP-4M Electron-Positron Collider [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr WEPIK081. - P. 3117-3119. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-WEPIK081.
- [523] Borin V.M., Dorokhov V.L., Meshkov O.I., Schegolev L.M., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A. An Experimental Study of Beam Dynamics in the ERL-Based Novosibirsk Free Electron Laser [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr THPAB036. - P. 3781-3783. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-THPAB036.
- [524] Oide K., Ohmi K., Bogomyagkov A.V., Koop I.A., Levichev E.B., Piminov P.A., Shatilov D.N., Sinyatkin S.V., Benedikt M., Burkhardt H., Holzer B., Milanese A., Wenninger J., Zimmermann F., Blondel A.,

Koratzinos M., Boscolo M. Progress in the Design of Beam Optics for FCC-ee Collider Ring [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr TUOCB1. - P. 1281-1284. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-TUOCB1.

[525] Ogur S., Barnyakov A.M., Levichev A.E., Nikiforov D.A., Papaphilippou Y., Zimmermann F., Furukawa K., Iida N., Miyahara F., Oide K. Preliminary Design of FCC-ee Pre-Injector Complex [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr TUPAB014. - P. 1337-1340. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-TUPAB014.

[526] Kitamura R., Otani M., Fukao Y., Kawamura N., Mibe T., Miyake Y., Shimomura K., Kondo Y., Hasegawa K., Bae S., Kim B., Razuvaev G.P., Iinuma H., Ishida K., Saito N. First Trial of the Muon Acceleration for J-Parc Muon g-2/edm Experiment [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr TUPVA097. - P. 2311-2313. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-TUPVA097.

[527] Rossi A., Aberle O., Albertone J., Barnyakov A.M., Bertarelli A., Boccard C., Carra F., Cattenoz G., Delaup Y., Fartoukh S., Fitterer M., Gobbi G., Lendaro J., Levichev A.E., Nikiforov D.A., Papaphilippou Y., Patapenka A., Perini D., Redaelli S., Schmickler H., Stancari G., Valishev A., Zanoni C. Progress with Long-Range Beam-Beam Compensation Studies for High Luminosity LHC [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr TUPVA115. - P. 2358-2361. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-TUPVA115.

[528] Dudnikov V.G., Cummings presenter M.A., Johnson R.P., Dudnikov A.V. Cold Muonium Negative Ion Production [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr WEPAB137. - P. 2898-2901. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-WEPAB137.

[529] Berkaev D.E., Andrianov A.V., Astrelina K.V., Balakin V.V., Batrakov A.M., Belikov O.V., Blinov M.F., Bolkhovityanov D., Butakov A., Bykov E.V., Dikansky N.S., Emanov F.A., Frolov A.R., Gambaryan V.V., Gorchakov K., Gusev E.A., Karnaev S.E., Karpov G.V., Kasaev A.S., Kenzhebulatov E., Kiselev V.A., Klushev S., Kondakov A.A., Koop I., Korenev I., Kot

N.Kh., Kozak V.R., Krasnov A.A., Krutikhin S.A., Kuptsov I.V., Kurkin G.Y., Lebedev N.N., Levichev A.E., Logatchov P.V., Maltseva Yu., Mikailov A., Murasev A.A., Muslivets V., Nikiforov D.A., Novikov An.A., Ottmar A.V., Pavlenko A.V., Pivovarov I.L., Rashchenko V.V., Rogovsky Yu.A., Samoilov S.L., Sazonov N., Semenov A.V., Shwartz D.B., Skrinsky A.N., Starostenko A.A., Starostenko D.A., Tribendis A.G., Tsyganov A.S., Vasichev S.S., Vasiliev S.V., Yudin V.D., Zemlyanskij I.M., Zhuravlev A.N. VEPP-5 Injection Complex: Two Colliders Operation Experience [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr WEPIK026. - P.2982-2984. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-WEPIK026.

[530] Piminov P.A., VEPP-4M Team. Status of the Electron-Positron Collider VEPP-4 [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr WEPIK028. - P. 2985-2988. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-WEPIK028.

[531] Shatunov P.Yu., Belikov O.V., Berkaev D.E., Gorchakov K.M., Kasaev A.S., Kirpotin A.N., Koop I., Krasnov A.A., Lysenko A.P., Motygin S.V., Prosvetov V.P., Rabusov D., Semenov A.M., Shatunov Yu.M., Timoshenko M.V., Zemlyansky I.M., Zharinov Yu.M., Shwartz D.B., Perevedentsev E.A., Rogovsky Yu.A., Senchenko A.I. High Luminosity at VEPP-2000 Collider With New Injector [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr WEPIK029. - P. 2989-2991. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-WEPIK029.

[532] Koratzinos M., Blondel A., Bogomyagkov A.V., Sinyatkin S.V., Vobly P.D., Bielert E., Benedikt M., Zimmermann F., Dam M., Oide K., Boscolo M. Progress in the FCC-ee Interaction Region Magnet Design [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr WEPIK034. - P. 3003-3006. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-WEPIK034.

[533] Gethmann J., Bernhard A., Huttel E., Papash A., Blomley E., Schedler M., Muller A.-S., Zolotarev K.V., Zisopoulos P., Papaphilippou Y. Non-Linear Beam Dynamics Studies of the CLIC Damping Wiggler Prototype [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr WEPIK068. - P. 3087-3090. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-WEPIK068.

[534] Matveenko A.N., Abo-Bakr M., Buerkmann-Gehrlein K., Davidyuk I.V., Shevchenko O.A., Utkin A.V., Vinokurov N.A. The Magnets of bERLinPro: Specification, Design, Measurement and Quality Analysis [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr THPIK012. - P. 4124-4126. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-THPIK012.

[535] Barladyan A.K., Barnyakov A.Yu., Glukhov S.A., KarnaeV S.E., Levichev E.B., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Piminov P.A., Shamov A.G., Zhuravlev A.N. Integer Spin Resonance Crossing With Preserving Beam Polarization on VEPP-4M [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr THPVA017. - P. 4451-4453. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-THPVA017.

[536] Vinokurov N.A., Arbuzov V.S., Chernov K.N., Davidyuk I.V., Deichuli O.I., Dementyev E.N., Dovzhenko B.A., Getmanov Ya.V., Gorbachev Ya.I., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kondakov A.A., Kozak V.R., Kozyrev E.V., Krutikhin S.A., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kuper E.A., Kuptsov I.V., Kurkin G.Ya., Medvedev L.E., Motygin S.V., Ovchar V.K., Osipov V.N., Petrov V.M., Pilan A.M., Popik V.M., Repkov V.V., Salikova T.V., Scheglov M.A., Sedlyarov I.K., Serednyakov S.S., Shevchenko O.A., Skrinky A.N., Tararyshkin S.V., Tribendis A.G., Tcheskidov V.G., Vobly P.D., Volkov V.N. Novosibirsk Four-Orbit ERL With Three FELs [Electronic resource] // IPAC 2017: Proceedings of the 8th International Particle Accelerator Conference, Bella Conference Center, Copenhagen, Denmark, 14 - 19 May 2017. - Geneva: JACoW, 2017. - Art.nr FRXBB1. - P. 4836-4841. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2017-FRXBB1.

[537] Гаушштейн В.В., Грамолин А.В., Зеваков С.А., Левчук М.И., Логинов А.Ю., Николенко Д.М., Рачек И.А., Садыков Р.Ш., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В. Спектр виртуальных фотонов в реакции электроорождения отрицательно заряженных пионов на дейтронах // Известия вузов. Физика. - 2017. - Т. 60, № 7. - С. 85-90. - Библиогр.: 10 назв.

[538] Никитин П.А., Волошинов В.Б., Герасимов В.В., Князев Б.А. кустооптическая модуляция и отклонение электромагнитного излучения терагерцового диапазона в неполярных жидкостях // Письма в "Журнал технической физики". - 2017. - Т. 43, № 13. - С. 89-94. - Библиогр.: 14 назв. - DOI 10.21883/PJTF.2017.13.44816.16428.

[539] Образовский, А.Е., Середняков С.И. Энергетическое поведение сечений процессов $e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$ вблизи порога рождения пары $N N^-$ // Ядерная

физика. - 2017. - Т. 80, № 4. - С. 334-337. - Библиогр.: 14 назв. - DOI 10.7868/S0044002717040195.

[540] Разумов И.А., Завьялов Е.Л., Троицкий С.Ю., Ромащенко А.В., Петровский Д.В., Купер К.Э., Мошкин М.П. Избирательная цитотоксичность наночастиц марганца в отношении клеток глиобластом человека // Клеточные технологии в биологии и медицине. - 2017. - № 2. - С. 114-118. - Библиогр.: 20 назв.

[541] Gospodchikov E.D., Smolyakova O.B., Solomakhin A.L., Shalashov A.G. Electron cyclotron heating and diagnostics of plasma at the second harmonic in the GDT device // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 149: 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", Nizhny Novgorod, Russian Federation; 17 - 22 July 2017. - Art.nr 03023. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714903023.

[542] Gospodchikov, E. D., Shalashov A.G., Kutlin A.G. Plasma heating by microwaves in high- β devices // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 149: 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", Nizhny Novgorod, Russian Federation; 17 - 22 July 2017. - Art.nr 03006. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714903006.

[543] Shalashov A. Electron-cyclotron waves in large-scale open traps: New questions highlighted by recent experiments // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 149: 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", Nizhny Novgorod, Russian Federation; 17 - 22 July 2017. - Art.nr 03005. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714903005.

[544] Choporova Yu.Yu., Knyazev B.A., Osintseva N.D., Pavelyev V.S., Volodkin B.O. Terahertz Bessel beams with orbital angular momentum: Diffraction and interference // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 149: 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", Nizhny Novgorod, Russian Federation; 17 - 22 July 2017. - Art.nr 05003. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714905003.

[545] Balakin, A.A., Gospodchikov E.D., Shalashov A.G. Quasi-optical approach for inhomogeneous dissipative media with high-order spatial dispersion // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 149: 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", Nizhny Novgorod, Russian Federation; 17 - 22 July 2017. - Art.nr 03008. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714903008.

[546] Arzhannikov A.V., Ginzburg N.S., Kalinin P.V., Peskov N.Yu., Sandalov S.E., Sinitsky S.L., Stepanov V.D. Electrodynamical system for two-stage THz-generator on the base of two-channel planar FEM // EPJ Web of

Conferences. - 2017. - Vol. 149: 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", Nizhny Novgorod, Russian Federation; 17 - 22 July 2017. - Art.nr 05017. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714905017.

[547] Kubarev, V.V. Instabilities, coherency, and spectra of the NovoFEL radiation // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 149: 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", Nizhny Novgorod, Russian Federation; 17 - 22 July 2017. - Art.nr 05007. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714905007.

[548] Knyazev B.A., Cherkassky V.S., Choporova Yu.Yu., Kameshkov O.E., Kulipanov G.N., Osintseva N.D., Pavelyev V.S., Vinokurov N.A., Volodkin B.O. Wave beams with orbital angular momentum: A step towards terahertz // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 149: 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", Nizhny Novgorod, Russian Federation; 17 - 22 July 2017. - Art.nr 05001. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714905001.

[549] Kuznetsov, S.A., Arzhannikov A.V., Nikolaev N.A. High-performance spectrally selective pyroelectric detection of millimeter and submillimeter waves using ultra-thin metasurface absorbers // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 149: 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", Nizhny Novgorod, Russian Federation; 17 - 22 July 2017. - Art.nr 02018. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714902018.

[550] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Fiducial, total and differential cross-section measurements of t-channel single top-quark production in pp collisions at 8 TeV using data collected by the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 8. - Art.nr 531. - Bibliogr.: 91 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5061-9.

[551] Aad G., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Korol A.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Erratum to: Measurement of the charge asymmetry in top-quark pair production in the lepton-plus-jets final state in pp collision data at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector (The European Physical Journal C, (2016), 76, 2, (87), 10.1140/epjc/s10052-016-3910-6) // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 8. - Art.nr 564. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5089-x.

[552] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of WW/ WZ \rightarrow ℓ qq' production with the hadronically decaying boson reconstructed as one or two jets in pp collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV with ATLAS, and constraints on anomalous gauge couplings // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 8. - Art.nr 563. - Bibliogr.: 81 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5084-2.

[553] Adam, J., ALICE Collab., Pestov Y. Insight into particle production mechanisms via angular correlations of identified particles in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 8. - Art.nr 569. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5129-6.

[554] Acharya, S., ALICE Collab., Pestov Y. Measurement of D-meson production at mid-rapidity in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 8. - Art.nr 550. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5090-4.

[555] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Precision measurement and interpretation of inclusive W^+ , W^- and Z/γ^* production cross sections with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 6. - Art.nr 367. - Bibliogr.: 148 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4911-9.

[556] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Test of lepton universality with $B^0 \rightarrow K^{*0} \ell^+ \ell^-$ decays // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 8. - Art.nr 55. - Bibliogr.: 59 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2017)055.

[557] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Resonances and CP violation in B_s^0 and $\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi K^+ K^-$ decays in the mass region above the $\varphi(1020)$ // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 8. - Art.nr 27. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2017)037.

[558] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the kt splitting scales in $Z \rightarrow \ell\ell$ events in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the

ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 8. - Art.nr 26. - Bibliogr.: 56 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2017)026.

[559] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for direct top squark pair production in events with a Higgs or Z boson, and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 8. - Art.nr 6. - Bibliogr.: 102 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2017)006.

[560] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Erratum to: Search for dark matter in proton-proton collisions at 8 TeV with missing transverse momentum and vector boson tagged jets // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 8. - Art.nr 35. - DOI 10.1007/JHEP08(2017)035.

[561] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for top quark partners with charge $5/3$ in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 8. - Art.nr 73. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2017)073.

[562] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Searches for W' bosons decaying to a top quark and a bottom quark in proton-proton collisions at 13 TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 8. - Art.nr 29. - Bibliogr.: 60 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2017)029.

[563] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for pair production of vector-like top quarks in events with one lepton, jets, and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 8. - Art.nr 52. - Bibliogr.: 79 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2017)052.

[564] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Measurement of the inclusive energy spectrum in the very forward direction in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 8. - Art.nr 46. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2017)046.

[565] Gentshev A.N., Kuznetsov S.A., Baev S.G., Goldenberg B.G., Lonshakov E.A. Fabrication of quasi-optical selective elements for the terahertz range in the form of pseudometallic structures via deep X-ray lithography // Journal of Surface Investigation. - 2017. -

Vol. 11, Is. 4. - P. 710-720. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1134/S1027451017040073.

[566] Gota H., TAE Team, Ivanov A.A. Achievement of field-reversed configuration plasma sustainment via 10 MW neutral-beam injection on the C-2U device // Nuclear Fusion. - 2017. - Vol. 57, Is. 11. - Art.nr 116021. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1088/1741-4326/aa7d7b.

[567] Tanaka K., LHD Group, Vyacheslavov L.N. Collisionality dependence and ion species effects on heat transport in He and H plasma, and the role of ion scale turbulence in LHD // Nuclear Fusion. - 2017. - Vol. 57, Is. 11. - Art.nr 116005. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1088/1741-4326/aa79c6.

[568] Wolf R.C., W7-X Group Ivanov A., Khilchenko A., Shikhovtsev I.V. Major results from the first plasma campaign of the Wendelstein 7-X stellarator // Nuclear Fusion. - 2017. - Vol. 57, Is. 10. - Art.nr 102020. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1088/1741-4326/aa770d.

[569] Davidiuk I.V., Shevchenko O.A., Tcheskidov V.G., Vinokurov N.A. Results of test of prototype of variable period undulator // Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A. - 2017. - Vol. 871. - P. 77-82. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2017.07.060.

[570] Gauzshtein V.V., Gramolin A.V., Lazarenko B.A., Loginov A.Y., Mishnev S.I., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.S., Shestakov Y.V., Toporkov D.K., Zevakov S.A. Measurement of tensor analyzing powers of the incoherent pion photoproduction on a deuteron // Nuclear Physics A. - 2017. - Vol. 968. - P. 23-34. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2017.07.019.

[571] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Analysis of $D^+ \rightarrow \bar{K}_e^0 + \nu_e$ and $D^+ \rightarrow \pi_e^0 + \nu_e$ semileptonic decays // Physical Review D. - 2017. - Vol. 96, № 1. - Art.nr 012002. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.012002.

[572] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Observation of $e^+e^- \rightarrow \eta_{bc}$ at center-of-mass energies from 4.085 to 4.600 GeV // Physical Review D. - 2017. - Vol. 96, № 1. - Art.nr 012001. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.012001.

[573] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Observation of the doubly radiative decay $\eta' \rightarrow \gamma\gamma\pi^0$ // Physical Review D. - 2017. - Vol. 96, № 1. - Art.nr 012005. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.012005.

[574] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of $W_{\pm}W_{\pm}$ vector-boson

scattering and limits on anomalous quartic gauge couplings with the ATLAS detector // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 1. - Art.nr 012007. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.012007.

[575] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the $B^+ \rightarrow D^{*+} K^+ \pi^+$ decay // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 1. - Art.nr 011101. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.011101.

[576] Lee R.N., Smirnov A.V., Smirnov V.A., Steinhäuser M. n_f^2 contributions to fermionic four-loop form factors // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 1. - Art.nr 014008. - Bibliogr.: 58 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.014008.

[577] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for supersymmetry in the all-hadronic final state using top quark tagging in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 1. - Art.nr 012004. - Bibliogr.: 105 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.012004.

[578] Boussarie R., Grabovsky A.V., Ivanov D.Y., Szymanowski L., Wallon S. Next-to-Leading Order Computation of Exclusive Diffractive Light Vector Meson Production in a Saturation Framework // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 7. - Art.nr 072002. - Bibliogr.: 99 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.072002.

[579] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Determination of the Spin and Parity of the $Z_c(3900)$ // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 7. - Art.nr 072001. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.072001.

[580] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the Decays $\Lambda_b^0 \rightarrow \chi_{c1} p K^-$ and $\Lambda_b^0 \rightarrow \chi_{c2} p K^-$ // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 6. - Art.nr 062001. - Bibliogr.: 54 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.062001.

[581] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for the Dimuon Decay of the Higgs Boson in pp Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS Detector // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 5. - Art.nr 051802. - Bibliogr.: 56 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.051802.

[582] Likhacheva, A. Yu., Dementiev S.N., Goryainov S.V. Compressibility and reversible amorphization of thaumasite $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ pressurized in methanol-ethanol-H₂O up to 5 GPa // *Physics and*

Chemistry of Minerals. - 2017. - P. 1-8. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1007/s00269-017-0910-5.

[583] Acharya S., ALICE Collab., Pestov Y. Linear and non-linear flow mode in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 773. - P. 68-80. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.07.060.

[584] Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Berkaev D.E., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G.V., Gayazov S.E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Koop I.A., Kirpotin A.N., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Mikhailov K.Y., Okhapkin V.S., Otboev A.V., Pestov Y.N., Popov A.S., Razuvaev G.P., Rogovsky Y.A., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenkov A.E., Senchenko A.I., Shatunov Y.M., Shatunov P.Y., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D.B., Sibiryanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Zemlyansky I.M., Yudin Y.V. Study of the process $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$ in the c.m. energy range 1394–2005 MeV with the CMD-3 detector // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 773. - P. 150-158. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.08.019.

[585] Obrazovsky, A.E., Serednyakov S.I. Energy dependence of the cross sections for the $e^+e^- \rightarrow$ hadrons process near the production threshold for the NN^- pair // *Physics of Atomic Nuclei*. - 2017. - Vol. 80, № 4. - P. 646-649. - Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.1134/S1063778817040184.

[586] Nikitin P.A., Voloshinov V.B., Gerasimov V.V., Knyazev B.A. Acousto-optic modulation and deflection of terahertz electromagnetic radiation in nonpolar liquids // *Technical Physics Letters*. - 2017. - Vol. 43, № 7. - P. 635-637. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1134/S1063785017070112.

[587] Minaev V.B., Gusev V.K., Sakharov N.V., Petrov Yu.V., Varfolomeev V.I., Chernyushev F.V., Bakharev N.N., Dyachenko V.V., Khromov N.A., Kurskiev G.S., Mineev A.B., Rozhansky V.A., Saveliev A.N., Shchegolev P.B., Shikhovtsev I.V. Globus-M2 spherical tokamak and its mission in developing of compact fusion neutron source // *EPJ Web of Conferences*. - 2017. - Vol. 149: 10th International Workshop 2017 "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", Nizhny Novgorod, Russian Federation; 17 - 22 July 2017. - Art.nr 03001. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201714903001.

[588] Ogur S., Barnyakov A., Furukawa K., Iida N., Levichev A., Miyahara F., Nikiforov D., Oide K., Papaphilippou Y., Zimmermann F. Preliminary design of FCC-ee pre-injector complex // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2017. - Vol. 874, Is. 1: 8th International Particle Accelerator Conference: IPAC

2017; Bella Center Copenhagen, Copenhagen, Denmark; 14 - 19 May 2017. - Art.nr 012003. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/874/1/012003.

[589] Kitamura R., Otani M., Fukao Y., Kawamura N., Mibe T., Miyake Y., Shimomura K., Kondo Y., Hasegawa K., Bae S., Kim B., Razuvaev G., Iinuma H., Ishida K., Saito N. First trial of the muon acceleration for J-PARC muon g-2/EDM experiment // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 874, Is. 1: 8th International Particle Accelerator Conference: IPAC 2017; Bella Center Copenhagen, Copenhagen, Denmark; 14 - 19 May 2017. - Art.nr 012055. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/874/1/012055.

[590] Kurkuchekov V., Astrelin V., Kandaurov I., Trunев Yu. Angular distribution of beam electrons in a source with arc plasma emitter // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 830, Is. 1: 5th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects 2016: EFRE 2016; Tomsk; Russian Federation; 2 - 7 October 2016. - Art.nr 012031. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/830/1/012031.

[591] Akimov A.V., Anchugov O.V., Baidak A.F., Bak P.A., Shvedov D.A. Pseudospark switches commutation depending on trigger characteristics // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 830, Is. 1: 5th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects 2016: EFRE 2016; Tomsk; Russian Federation; 2 - 7 October 2016. - Art.nr 012023. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/830/1/012023. Kandaurov, I. V., Kurkuchekov

[592] V.V., Trunев Y.A. Study of electron beam uniformity in large-area multi-aperture diode with arc plasma cathode // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 830, Is. 1: 5th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects 2016: EFRE 2016; Tomsk; Russian Federation; 2 - 7 October 2016. - Art.nr 012032. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/830/1/012032.

[593] Astrelin V.T., Kandaurov I.V., Kurkuchekov V.V., Sveshnikov V.M., Trunев Y.A. The effect of angular divergence and space charge on transmission of an electron beam through a magnetic mirror // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 830, Is. 1: 5th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects 2016: EFRE 2016; Tomsk; Russian Federation; 2 - 7 October 2016. - Art.nr 012002. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/830/1/012002.

[594] Тен К.А., Прууэл Э.Р., Кашкаров А.О., Рубцов И.А., Шехтман Л.И., Жуланов В.В., Толочко Б.П., Музыря А.К., Просвирнин К.М., Смирнов Е.Б., Смирнов В.Н., Столбиков М.Ю. Изучение выброса микрочастиц из неоднородностей ударно-нагруженных металлов с использованием синхротронного излучения // Забалахинские научные чтения: XIII Международная конференция, Снежинск, 20 - 24

марта 2017 г.: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2017. - С. 52-53. - (то же на англ. яз.).

[595] Рубцов И.А., Тен К.А., Титов В.М., Прууэл Э.Р., Кашкаров А.О., Толочко Б.П., Жуланов В.В., Шехтман Л.И. Конденсация углерода при детонации зарядов ТГ разного диаметра // Забалахинские научные чтения: XIII Международная конференция, Снежинск, 20 - 24 марта 2017 г.: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2017. - С. 94-95. - Bibliogr.: 5 ref. - (то же на англ. яз.).

[596] Сковородин Д.И., Трунев Ю.А., Куркучек В.В., Попов С.С., Данилов В.В., Бурдаков А.В., Астрелин В.Т., Аракчеев А.С., Атлуханов М.Г., Старостенко Д.А., Старостенко А.А., Куленко Я.В., Вячеславов Л.Н., Сеницкий С.Л., Тимофеев И.В., Кузьменко А.Е., Никитин О.А., Колесников П.А., Ли Е.С., Ахметов А.Р., Хренков С.Д., Сысков Д.В., Политов В.Ю., Легоньков В.Д. Расчетные и экспериментальные исследования влияния мишенной плазмы на фокусировку пучка ЛИУ // Забалахинские научные чтения: XIII Международная конференция, Снежинск, 20 - 24 марта 2017 г.: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2017. - С. 142-143. - (то же на англ. яз.).

[597] Аракчеев А.С., Аульченко В.М., Бурдаков А.В., Васильев А.А., Вячеславов Л.Н., Евдоков О.В., Жуланов В.В., Касатов А.А., Косов А.В., Толочко Б.П., Шарафутдинов М.Р., Шехтман Л.И. Разработка диагностики объемной деформации кристаллической структуры по рентгеновской дифракции с временным и пространственным разрешением при импульсной лазерной нагрузке // Забалахинские научные чтения: XIII Международная конференция, Снежинск, 20 - 24 марта 2017 г.: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2017. - С. 160-161. - Bibliogr.: 2 ref. - (то же на англ. яз.).

[598] Кашаева Е.А., Малышкин Г.Н., Самарин С.И., Таскаев С.Ю. Расчетные исследования, выполненные по программе ПРИЗМА при разработке медицинской установки для бор-нейтронозахватной терапии // Забалахинские научные чтения: XIII Международная конференция, Снежинск, 20 - 24 марта 2017 г.: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2017. - С. 256-257. - (то же на англ. яз.).

[599] Касатов Д.А., Макаров А.Н., Сорокин И.Н., Таскаев С.Ю., Щудло И.М. Ускорительный источник нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии // Забалахинские научные чтения: XIII Международная конференция, Снежинск, 20 - 24 марта 2017 г.: тезисы. - Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2017. - С. 273. - (то же на англ. яз.).

[600] Бурдаков А.В., Башкирцев А.Г., Кузнецов А.С., Алейник В.И., Астрелин В.Т., Овтин И.В., Суляев Ю.С. Изучение энергетической стабильности пучка ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией с помощью резонансных γ -квантов // Приборы и техника эксперимента. - 2017. - № 4. - С. 70-74. - Библ.: 11 назв. - DOI 10.7868/S0032816217040024.

- [601] Актёршев, Ю.С., Васичев С.С., Веремеенко В.Ф. Прецизионный четырехквadrантный источник тока ВЧ-500-12Р для питания сверхпроводящих соленоидов // Сибирский физический журнал. - 2017. - Т. 12, № 2. - С. 138-141. - Библиогр.: 4 назв. - DOI 10.25205/2541-9447-2017-12-2-138-141.
- [602] Zvereva V.V., Trunova V.A., Sorokoletov D.S., Polosmak N.V. Mercury in archeological hair samples from Xiongnu burials (Noin-Ula, Mongolia): SR XRF and CXRM analysis // X-Ray Spectrometry. - 2017. - Bibliogr.: 40 ref. - (in press). - DOI 10.1002/xrs.2798.
- [603] Choporova Yu.Yu., Knyazev B.A., Kulipanov G.N., Pavelyev V.S., Scheglov M.A., Vinokurov N.A., Volodkin B.O., Zhabin V.N. High-power Bessel beams with orbital angular momentum in the terahertz range // Physical Review A. - 2017. - Vol. 96, № 2. - Art.nr 023846. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1103/PhysRevA.96.023846.
- [604] Gerasimov V.V., Khasanov I.S., Nikitin A.K., Trang T.T. Searching for evidences of the surface plasmon nature of the thermal radiation emitted from the facet edge of a metal bar // Infrared Physics and Technology. - 2017. - Vol. 86. - P. 52-58. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1016/j.infrared.2017.08.009.
- [605] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of B^0 's and D^+ 's Meson Lifetimes // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 119, № 10. - Art.nr 101801. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.101801.
- [606] Adam, J., ALICE Collab., Pestov Y. Anomalous Evolution of the Near-Side Jet Peak Shape in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 119, № 10. - Art.nr 102301. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.102301.
- [607] Timofeev I.V., Berendeev E.A., Dudnikova G.I. Simulations of a beam-driven plasma antenna in the regime of plasma transparency // Physics of Plasmas. - 2017. - Vol. 24, № 9. - Art.nr 093114. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1063/1.4995323.
- [608] Kovalenko O.A., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Berkaev D.E., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G.V., Gayazov S.E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kasaev A.S., Kovalenko O.A., Koop I.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Lysenko A.P., Mikhailov K.Y., Okhapkin V.S., Perevedentsev E.A., Pestov Y.N., Popov A.S., Razuvaev G.P., Rogovsky Y.A., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenenkov A.E., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D.B., Sibidanov A.L., Shatunov Y.M., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Y.V. Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ cross section with the CMD-3 detector // Physics of Particles and Nuclei. - 2017. - Vol. 48, Is. 5: The International Session-Conference of SNP PSD RAS "Physics of Fundamental Interactions", April 12–15, 2016, Dubna, Russia. - P. 773-775. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1134/S1063779617050252.
- [609] Fedotov G.V., Erofeev A.L., Ivanov V.L., Ryzhenenkov A.E., Shemyakin D.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Akhmetshin R.R., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Berkaev D.E., Bondar A.E., Bragin A.V., Vorobiev A.I., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Gayazov S.E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Jarinov Y.M., Kazanin V.F., Kasaev A.S., Karpov S.V., Kirpotin A.N., Kovalenko O.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Koop I.A., Korobov A.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Lysenko A.P., Mikhailov K.Y., Okhapkin V.S., Perevedentsev E.A., Pestov Y.N., Popov A.S., Razuvaev G.P., Rogovsky Y.A., Romanov A.L., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Talyshev A.A., Titov V.M., Shatunov P.Y., Shatunov Y.M., Shwartz B.A., Shwartz D.B., Shebalin V.E., Yudin Y.V. Cross sections of hadronic reactions $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi$ ($n = 1, 2, 3$) measured with the CMD3 detector at the VEPP-2000 electron-positron collider // Physics of Particles and Nuclei. - 2017. - Vol. 48, Is. 5: The International Session-Conference of SNP PSD RAS "Physics of Fundamental Interactions", April 12–15, 2016, Dubna, Russia. - P. 763-768. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1134/S1063779617050173.
- [610] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Study of charmonium production in b-hadron decays and first evidence for the decay B^0 's // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 9. - Art.nr 609. - Bibliogr.: 67 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5151-8.
- [611] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section using events without lepton and at least one jet in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 9. - Art.nr 51. - Bibliogr.: 81 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2017)051.
- [612] Acharya S., ALICE Collab., Pestov Y. Searches for transverse momentum dependent flow vector fluctuations in Pb-Pb and p-Pb collisions at the LHC // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 9. - Art.nr 32. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2017)032.
- [613] Acharya S., ALICE Collab., Pestov Y. Erratum to: Production of π^0 and η mesons up to high transverse momentum in pp collisions at 2.76 TeV // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 9. - Art.nr 586. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5144-7.

- [614] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the inclusive jet cross-sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 9. - Art.nr 20. - Bibliogr.: 92 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2017)020.
- [615] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Identification and rejection of pile-up jets at high pseudorapidity with the ATLAS detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 9. - Art.nr 580. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5081-5.
- [616] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Study of Jet Quenching with Z+jet Correlations in Pb-Pb and pp Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 8. - Art.nr 082301. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.082301.
- [617] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of long-range azimuthal anisotropies and associated Fourier coefficients for pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ and 13 TeV and p+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with the ATLAS detector // *Physical Review C*. - 2017. - Vol. 96, № 2. - Art.nr 024908. - Bibliogr.: 85 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.96.024908.
- [618] Razumov I.A., Zav'yalov E.L., Troitskii S.Y., Romashchenko A.V., Petrovskii D.V., Kuper K.E., Moshkin M.P. Selective Cytotoxicity of Manganese Nanoparticles against Human Glioblastoma Cells // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. - 2017. - Vol. 163, Is. 4. - P. 561-565. - Bibliogr.: 20 ref. - DOI 10.1007/s10517-017-3849-0.
- [619] Saleev A., JEDI Collab., Koop I.A. Spin tune mapping as a novel tool to probe the spin dynamics in storage rings // *Physical Review Accelerators and Beams*. - 2017. - Vol. 20, № 7. - Art.nr 072801. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1103/PhysRevAccelBeams.20.072801. - e-Print: arXiv:1703.01295.
- [620] Petrenko A., Lotov K., Minakov V., Pukhov A., Sosedkin A. Simulations of the possible AWAKE Run-2 experiment at CERN [Electronic resource] // 3rd European Advanced Accelerator Concepts Workshop, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, 24 - 30 September 2017: Contributions book. - 2017. - P. 20.
- [621] Li Y., Xia G., Lotov K., Sosedkin A., Hanahoe K., Mete O. Multi-proton bunch driven hollow plasma wakefield acceleration in the nonlinear regime [Electronic resource] // 3rd European Advanced Accelerator Concepts Workshop, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, 24 - 30 September 2017: Contributions book. - 2017. - P. 39.
- [622] Lotov, K. Radial Equilibrium of ultrarelativistic particle beams in plasma wakefield accelerators [Electronic resource] // 3rd European Advanced Accelerator Concepts Workshop, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, 24 - 30 September 2017: Contributions book. - 2017. - P. 48.
- [623] Spitsyn R., Lotov K., Ruhl H., Moschuering N. Generation of Controllable Plasma Wakefield Noise in Particle-in-Cell Simulations [Electronic resource] // 3rd European Advanced Accelerator Concepts Workshop, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, 24 - 30 September 2017: Contributions book. - 2017. - P. 55.
- [624] Gorn, A., Lotov K., Petrenko A. Concept of the long wakefield accelerator based on the tunnel gas ionization by the electric field from a dense electron bunch [Electronic resource] // 3rd European Advanced Accelerator Concepts Workshop, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, 24 - 30 September 2017: Contributions book. - 2017. - P. 68.
- [625] Sosedkin, A., Lotov K., Shalimova I. LCODE 3D: a free quasistatic plasma wakefield acceleration code [Electronic resource] // 3rd European Advanced Accelerator Concepts Workshop, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, 24 - 30 September 2017: Contributions book. - 2017. - P. 88.
- [626] Tuev P., Lotov K., Spitsyn R., Sosedkin A. Simulation of electron trapping with quasistatic code [Electronic resource] // 3rd European Advanced Accelerator Concepts Workshop, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, 24 - 30 September 2017: Contributions book. - 2017. - P. 91.
- [627] Minakov, V., Lotov K., Tacu M. Emittance of the accelerated electron bunch in two-stage AWAKE scenario [Electronic resource] // 3rd European Advanced Accelerator Concepts Workshop, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, 24 - 30 September 2017: Contributions book. - 2017. - P. 112.
- [628] Петриченко М.В., Мельник С.И., Репков А.В., Чудаев В.Я., Шамакина Н.С., Экста В.В. Первые эксперименты по использованию термолюминесцентных дозиметров на основе LiF для дозиметрии в поле нейтронного излучения ускорительного источника для борнейтронозахватной терапии // XIV Международное совещание "Проблемы прикладной спектроскопии и радиометрии", 4 - 6 октября 2017 г., Москва. - М.: НОЧУ ДПО "ЭкоСфера", 2017. - С. 23-24.

- [629] Timofeev, I. V., Annenkov V.V., Volchok E.P. Generation of high-field narrowband terahertz radiation by counterpropagating plasma wakefields // *Physics of Plasmas*. - 2017. - Vol. 24, № 10. - Art.nr 103106. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1063/1.4993100.
- [630] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the Doubly Charmed Baryon Ξ_{cc}^{++} // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 11. - Art.nr 112001. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.112001.
- [631] Kazakov V.V., Kazakov V.G., Kovalev V.S., Meshkov O.I., Yatsenko A.S. Electronic structure of atoms: Atomic spectroscopy information system // *Physica Scripta*. - 2017. - Vol. 92, № 10. - Art.nr 105002. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1088/1402-4896/aa822e.
- [632] Adam, J., ALICE Collab., Pestov Y. Evolution of the longitudinal and azimuthal structure of the near-side jet peak in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV // *Physical Review C*. - 2017. - Vol. 96, № 3. - Art.nr 034904. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.96.034904.
- [633] Bekhtenev, E.A., Karpov G.V., Piminov P.A. A beam-position monitor system at the VEPP-4M electron-positron collider // *Instruments and Experimental Techniques*. - 2017. - Vol. 60, № 5. - P. 679-685. - Bibliogr.: 2 ref. - DOI 10.1134/S0020441217050025.
- [634] Kubarev, V.V., Getmanov Y.V., Shevchenko O.A. Continuous point-like high-temperature laser discharge produced by terahertz free electron laser // *AIP Advances*. - 2017. - Vol. 7, № 9. - Art.nr 095123. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1063/1.4992058.
- [635] Timofeev, I.V., Berendejev E.A., Dudnikova G.I. Simulations of a beam-driven plasma antenna in the regime of plasma transparency // *Physics of Plasmas*. - 2017. - Vol. 24, № 9. - Art.nr 093114. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1063/1.4995323.
- [636] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for a heavy resonance decaying to a top quark and a vector-like top quark at $\sqrt{s}=13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 9. - Art.nr 53. - Bibliogr.: 67 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2017)053.
- [637] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Top-quark mass measurement in the all-hadronic $t\bar{t}$ decay channel at $\sqrt{s}=8$ TeV with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 9. - Art.nr 118. - Bibliogr.: 58 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2017)118.
- [638] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for new phenomena in a lepton plus high jet multiplicity final state with the ATLAS experiment using $\sqrt{s}=13$ TeV proton-proton collision data // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 9. - Art.nr 88. - Bibliogr.: 91 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2017)088.
- [639] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for supersymmetry in final states with two same-sign or three leptons and jets using 36 fb^{-1} of $\sqrt{s}=13$ TeV pp collision data with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 9. - Art.nr 84. - Bibliogr.: 100 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2017)084.
- [640] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Study of $WW\gamma$ and $WZ\gamma$ production in pp collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV and search for anomalous quartic gauge couplings with the ATLAS experiment // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 9. - Art.nr 646. - Bibliogr.: 82 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5180-3.
- [641] Belchenko Yu., Ivanov A., Sanin A., Sotnikov O. Extracted beam and electrode currents in the inductively driven surface-plasma negative hydrogen ion source // 5th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS'16), St. Anne's College, Oxford, UK, 12 - 16 September, 2016. - Melville: AIP, 2017. - Art.nr 030004. - (AIP Conference Proceedings; Vol.1869). - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1063/1.4995725.
- [642] Popov S.S., Atluhanov M.G., Burdakov A.V., Ivanov A.A., Kolmogorov A.V., Ushkova M.Yu. High effective neutralizer for negative hydrogen and deuterium ion beams on base of nonresonance adiabatic trap of photons // 5th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS'16), St. Anne's College, Oxford, UK, 12 - 16 September, 2016. - Melville: AIP, 2017. - Art.nr 050005. - (AIP Conference Proceedings; Vol. 1869). - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1063/1.4995786.
- [643] Dudnikov, V., Dudnikov A. Positronium negative ions for monitoring work functions of surface plasma source // 5th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS'16), St. Anne's

College, Oxford, UK, 12 - 16 September, 2016. - Melville: AIP, 2017. - Art.nr 020007. - (AIP Conference Proceedings; Vol. 1869). - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1063/1.4995713.

[644] Saleev, A., JEDI Collab., Koop I. Spin tune mapping as a novel tool to probe the spin dynamics in storage rings // *Physical Review Accelerators and Beams*. - 2017. - Vol. 20, № 7. - Art.nr 072801. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1103/PhysRevAccelBeams.20.072801.

[645] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for Charged Higgs Bosons Produced via Vector Boson Fusion and Decaying into a Pair of W and Z Bosons Using pp Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 14. - Art.nr 141802. - Bibliogr.: 84 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.141802.

[646] Grozin, A., Henn J., Stahlhofen M. On the Casimir scaling violation in the cusp anomalous dimension at small angle // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 52. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)052.

[647] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for direct production of supersymmetric partners of the top quark in the all-jets final state in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 5. - Bibliogr.: 109 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.141802.

[648] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for top squark pair production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using single lepton events // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 19. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)019.

[649] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Measurement of the semileptonic $t \rightarrow \gamma + \text{lepton}$ production cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 6. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)006.

[650] Acharya, S., ALICE Collab., Pestov Y. Measurement of deuteron spectra and elliptic flow in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV at the LHC // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 10. - Art.nr 658. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5222-x. Aaboud M., ATLAS Collab.,

[651] Bogdanchikov A.G., Podberezko P. Performance of the ATLAS track reconstruction algorithms in dense environments in LHC Run 2 // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 10. - Art.nr 673. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5225-7.

[652] Pacheco-Pena V., Engheta N., Kuznetsov S., Gentshev A., Beruete M. Experimental Realization of an Epsilon-Near-Zero Graded-Index Metalens at Terahertz

Frequencies // *Physical Review Applied*. - 2017. - Vol. 8, № 3. - Art.nr 034036. - Bibliogr.: 63 ref. - DOI 10.1103/PhysRevApplied.8.034036.

[653] Aalseth C.E., DarkSide Collab., Bondar A., Buzulutskov A., Nosov V., Oleynikov V., Shekhtman L., Shemyakina E., Sokolov A. Cryogenic Characterization of FBK RGB-HD SiPMs // *Journal of Instrumentation*. - 2017. - Vol. 12, № 9. - Art.nr P09030. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/09/P09030.

[654] Ivanov V., Barnyakov A., Barnyakov M., Bobrovnikov V., Ovtin I. Numerical simulation of fast photo detectors based on microchannel plates // *Journal of Instrumentation*. - 2017. - Vol. 12, № 9. - Art.nr P09024. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/09/P09024.

[655] Barnyakov A.Y., Barnyakov M.Y., Karpov S.V., Katcin A.A., Priskekin V.G. Microchannel plates phototubes in high magnetic field // *Journal of Instrumentation*. - 2017. - Vol. 12, № 9, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C09013. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/09/C09013.

[656] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of the $\Xi_b^- \rightarrow J/\psi AK^-$ decay // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 772. - P. 265-273. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.06.045.

[657] Ivanov V.L., Fedotov G.V., Anisenkov A.V., Grebenuk A.A., Mikhailov K.Y., Kozyrev A.A., Shebalin V.E., Ruban A.A., Bashtovoy N.S. Charged particle identification with the liquid Xenon calorimeter of the CMD-3 detector // *Journal of Instrumentation*. - 2017. - Vol. 12, № 9, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C09005. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/09/C09005.

[658] Pugachev, K., Korol A. Management system for the SND experiments // *Journal of Instrumentation*. - 2017. - Vol. 12, № 9, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C09006. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/09/C09006.

[659] Kazanin V.F. Laboratory tests of the response stability of the ATLAS Tile Calorimeter photomultipliers // *Journal of Instrumentation*. - 2017. - Vol. 12, № 9, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia,

27 February - 3 March 2017. - Art.nr C09002. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/09/C09002.

[660] Razuvaev G.P., Bae S., Choi H., Choi S., Ko H.S., Kim B., Kitamura R., Mibe T., Otani M. The low energy muon beam profile monitor for the muon g-2/EDM experiment at J-PARC // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 9, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C09001. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/09/C09001.

[661] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Evidence for $e^+e^- \rightarrow \gamma\eta c(1S)$ at center-of-mass energies between 4.01 and 4.60 GeV // Physical Review D. - 2017. - Vol. 96, № 5. - Art.nr 051101. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.051101.

[662] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Measurement of branching fractions for $\psi(3686)$ Evidence for $e^+e^- \rightarrow \gamma\eta c(1S)$ at center-of-mass $\eta\eta'$, $\eta\eta$ and $\gamma\pi^0$ // Physical Review D. - 2017. - Vol. 96, № 5. - Art.nr 052003. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.052003.

[663] Guido E., Belle Collab., Aulchenko V., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Study of η and dipion transitions in $Y(4S)$ decays to lower bottomonia // Physical Review D. - 2017. - Vol. 96, № 5. - Art.nr 052005. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.052005.

[664] Pal B., Belle Collab., Bobrov A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Matvienko D., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Search for $\Lambda_{c^+} \rightarrow \varphi p \pi^0$ and branching fraction measurement of $\Lambda_{c^+} \rightarrow K^- \pi^+ p \pi^0$ // Physical Review D. - 2017. - Vol. 96, № 5. - Art.nr 051102. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.051102.

[665] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of charmless baryonic decays $B^0_{(s)} \rightarrow p \bar{p} h^+ h^-$ // Physical Review D. - 2017. - Vol. 96, № 5. - Art.nr 051103. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.051103.

[666] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Erratum to: Search for dark matter and unparticles in events with a Z boson and missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 9. - Art.nr 106. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2017)106.

[667] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G.,

Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for new phenomena in dijet events using 37 fb⁻¹ of pp collision data collected at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2017. - Vol. 96, № 5. - Art.nr 052004. - Bibliogr.: 94 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.052004.

[668] Grigoriev D.N., Kasyanenko P.V., Kravchenko E.A., Shamov A.G., Talyshev A.A. A 32-channel 840Mps TDC based on Altera Cyclone III FPGA // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08025. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08025.

[669] Barnyakov A.Y., Barnyakov M.Y., Blinov V.E., Bobrovnikov V.S., Bykov A.V., Ivanov V.Y., Katcin A.A., Mamoshkina E.V., Ovtin I.V., Pivovarov S.G., Prisekin V.G., Pyata E.E. Conceptual design of MCP based particle detector // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08024. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08024.

[670] Blinov V.E., Ivakin V.O., Kaminskiy V.V., Kudryavtsev V.N., Muchnoi N.Yu., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Shekhtman L.I. Laser Polarimeter at VEPP-4M // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08020. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08020.

[671] Budnev N., Astapov I., Bezyazeev P., Boreyko V., Borodin A., Bruckner M., Chiavassa A., Gafarov A., Grebenyuk V., Gress O., Gress T., Grinyuk A., Grishin O., Dyachok A., Fedorov O., Haungs A., Horns D., Huege T., Ivanova A., Kalmykov N., Kazarina Y., Kindin V., Kiryuhin S., Kokoulin R., Kompaniets K., Kostunin D., Korosteleva E., Kozhin V., Kravchenko E., Kunnas M., Kuzmichev L., Lemeshev Y., Lenok V., Lubsandorzhiev B., Lubsandorzhiev N., Mirgazov R., Mirzoyan R., Monkhoev R., Nachtigall R., Osipova E., Pakhorukov A., Panasyuk M., Pankov L., Poleschuk V., Popesku M., Popova E., Porelli A., Postnikov E., Prosin V., Ptuskin V., Petrukhin A., Pushnin A., Rjabov E., Rubtsov G., Sagan Y., Samoliga V., Semeny Yu., Sidorenkov A., Schroder F., Silaev A., Silaev A., Skurikhin A., Slunicka M., Sokolov A., Spiering C., Sveshnikova L., Tabolenko V., Tarashansky B., Tkachenko A., Tkachev L., Tluczykont M., Wischnewski R., Yashin I., Zagorodnikov A., Zhurov D., Zurbanov V. TAIGA experiment: Present status and perspectives //

Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08018. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08018.

[672] Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Brianza L., Cavallari F., Ciriolo V., Del Re D., Gelli S., Ghezzi A., Gotti C., Govoni P., Katcin A.A., Malberti M., Martelli A., Marzocchi B., Meridiani P., Organtini G., Paramatti R., Pigazzini S., Prisekin V.G., Rahatlou S., Rovelli C., Santanastasio F., De Fatis T.T. Micro-channel plates in ionization mode as a fast timing device for future hadron colliders // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08014. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08014.

[673] Barnyakov A.M., Levichev A.E., Maltseva M.V., Nikiforov D.A. Simulations of S-band RF gun with RF beam control // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8. - Art.nr T08002. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/T08002.

[674] Akhmetshin R.R., Grigoriev D.N., Kazanin V.F., Kuzmenko A.E., Timofeev A.V. Geometric alignment of the CMD-3 endcap electromagnetic calorimeter using events of two-quantum annihilation // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08010. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08010.

[675] Shlegel V.N., Borovlev Y.A., Grigoriev D.N., Grigorieva V.D., Danevich F.A., Ivannikova N.V., Postupaeva A.G., Vasiliev Y.V. Recent progress in oxide scintillation crystals development by low-thermal gradient Czochralski technique for particle physics experiments // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08011. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08011.

[676] Kaminskiy, V. V., Muchnoi N.Y., Zhilich V.N. Proposal for VEPP-4M beam energy measurement using magnetic spectrometer with Compton calibration and photon detector // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08006. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08006.

[677] Achasov M.N., Muchnoi N.Y. Laser back-scattering for beam energy calibration in collider experiments // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08007. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08007.

[678] Kaminskiy, V. V., Muchnoi N.Y., Zhilich V.N. Energy scale calibration of KEDR detector tagging system // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08002. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08002.

[679] Aulchenko V., Bobrov A., Ferber T., Kuzmin A., Miyabayshi K., De Nardo G., Shebalin V., Sibidanov A., Usov Y., Zhulanov V. Time and energy reconstruction at the electromagnetic calorimeter of the Belle-II detector // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 8, Pt. Conference proceedings: International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17), Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, 27 February - 3 March 2017. - Art.nr C08001. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/08/C08001.

[680] Дарьин, Ф. А., Сороколетов Д.С., Ракшун Я.В. Статус экспериментальной станции РФА СИ накопителя ВЭПП-3 ЦКП "СЦСТИ" // Национальная молодежная научная школа для молодых ученых, аспирантов и студентов по современным методам исследований наносистем и материалов "Синхротронные и нейтронные исследования": СИН-нано-2017, 25 июня - 7 июля 2017 г., Москва: сборник аннотаций. - Москва: НИЦ "Курчатовский институт", 2017. - С. 37.

[681] Дарьин Ф.А., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С., Чернецкая М.Д. Исследование волос с целью криминалистической экспертизы методами микро-РФА // Национальная молодежная научная школа для молодых ученых, аспирантов и студентов по современным методам исследований наносистем и материалов "Синхротронные и нейтронные исследования": СИН-нано-2017, 25 июня - 7 июля 2017 г., Москва: сборник аннотаций. - Москва: НИЦ "Курчатовский институт", 2017. - С. 93.

[682] Berendeev, E.A., Dudnikova G.I., Efimova A.A. PIC-simulation of the electron beam interaction with modulated density plasma // 9th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences - AMiTaNS'17, Flamingo Grand Hotel Albena, Varna, Bulgaria, 21-26 June 2017. - Melville: AIP, 2017. - Art.nr 120002. - (AIP Conference Proceedings; Vol. 1895). - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1063/1.5007419.

- [683] Григорьева Т.Ф., Толочко Б.П., Логачев П.В., Анчаров А.И., Восмериков С.В., Девяткина Е.Т., Удалова Т.А., Ворсина И.А., Пастухов Э.А., Ляхов Н.З. Получение карбида гафния методами механики и радиационного воздействия // Расплавы. - 2017. - № 4. - С. 302-308. - Библиогр.: 9 назв.
- [684] Краснов, А.А., Семенов А.М. Исследование свойств нераспыляемых геттеров на базе титан-тантала // Прикладная физика. - 2017. - № 4. - С. 94-101. - Библиогр.: 15 назв.
- [685] Гвоздева Л.М., Ломовская Т.Ф., Ильичева Т.Н., Таскаев С.Ю. Повышение продуктивности штамма-продуцента антибиотика бацитрацин // Молодежный научный вестник. - 2017. - № S6 (19). - С. 8-15. - Библиогр.: 14 назв.
- [686] Брызгин А.А., Воронин Л.А., Ткаченко В.О., Лукин А.Н., Нехаев В.Е., Панфилов А.Д., Радченко В.М., Факторович Б.Л., Штарклев Е.А., Безуглов В.В., Власов А.Ю., Коробейников М.В. Стерилизация медицинских изделий на ускорителях серии ИЛУ // Медицинская физика. - 2017. - № 2 (74). - С. 57-60. - Библиогр.: 4 назв.
- [687] Гурова О.А., Омелянчук Л.В., Дубатолова Т.Д., Антохин Е.И., Елисеев В.С., Юшина И.В., Окотруб А.В. Синтез и модификация структуры углеродных нанохорнов для применения в гипертермии // Журнал структурной химии. - 2017. - Т. 58, № 6. - С. 1253-1260. - Библиогр.: 36 назв.
- [688] Мурзинцев П.П., Полянский А.В., Сердаков Л.Е. Об оптимизации опорных геодезических кольцевых сетей ускорителей при использовании лазерных трекеров // Геодезия и картография. - 2017. - № 5. - С. 2-6. - Библиогр.: 7 назв. - DOI 10.22389/0016-7126-2017-923-5-2-6.
- [689] Черевко, А.Г., Кубарев В.В. Измерение эффективной площади рассеивания объектов сложной конфигурации с использованием Новосибирского лазера на свободных электронах // Интерэкспо Гео-Сибирь. - 2017. - Т. 8. - С. 210-214. - Библиогр.: 4 назв.
- [690] Рояк М.Э., Ступаков И.М., Кондратьева Н.С., Винокуров Н.А., Шевченко О.А., Середняков С.С., Горбачев Я.И. Применение новой модели остаточной намагниченности железа для расчета поворотного магнита ускорителя // Письма в "Журнал технической физики". - 2017. - Т. 43, № 20. - С. 28-36. - Библиогр.: 4 назв. - DOI 10.21883/PJTF.2017.20.45147.16647.
- [691] Генцелев А.Н., Кузнецов С.А., Баев С.Г., Гольденберг Б.Г., Лоншаков Е.А. Создание квазиоптических селективных элементов терагерцового диапазона в виде псевдометаллических структур посредством глубокой рентгеновской литографии // Поверхность. Рентгеновские, синхро-тронные и нейтронные исследования. - 2017. - № 7. - С. 32-42. - Библиогр.: 36 назв. - DOI 10.7868/S0207352817070071.
- [692] Бехтенов, Е.А., Карпов Г.В., Пиминов П.А. Система измерения положения пучка в электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М // Приборы и техника эксперимента. - 2017. - № 5. - С. 74-80. - Библиогр.: 2 назв. - DOI 10.7868/S0032816217050044.
- [693] Винокуров Н.А., Барняков А.М., Волков В.Н., Колобанов Е.И., Кузнецов Г.И., Куркин Г.Я., Левичев А.Е., Логачев П.В., Никифоров Д.А., Петров В.М., Старостенко Д.А., Трибендис А.Г. Электронные пушки в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН и перспективы их оснащения фотокатодами с лазерными драйверами нано- и субпикосекундной деятельности // Успехи физических наук. - 2017. - Т. 187, № 10. - С. 1116-1120. - Библиогр.: 8 назв. - DOI 10.3367/UFN.2017.03.038141.
- [694] Казаков, В. В., Казаков В.Г., Мешков О.И. Инструменты научной визуализации в атомных базах данных // Оптика и спектроскопия. - 2017. - Т. 123, № 4. - С. 536-542. - Библиогр.: 8 назв. - DOI 10.7868/S0030403417100099.
- [695] Коломакина, Б.А. Мотив превращения в сибирских сказаниях: структура, классификация // Филологические науки. Вопросы теории и практики. - 2017. - № 7-1 (73). - С. 34-44. - Библиогр.: 11 назв.
- [696] Завьялов Н.В., Кузнецов В.В., Курапов Н.Н., Опекунов А.М., Пospelов Г.П., Путевский С.А., Сметанин М.Л., Тельнов А.В., Тресков С.М., Хромьяк М.И., Шориков И.В., Юрлов В.Е., Арбузов В.С., Волков В.Н., Запрягаев И.А., Колобанов Е.И., Крутихин С.А., Куркин Г.Я., Купер Э.А., Мотыгин С.В., Осипов В.Н., Овчар В.К., Репков В.В., Петров В.М., Седяров И.К., Сердобинцев Г.В., Середняков С.С., Тарарышкин С.В., Трибендис А.Г., Чернов К.Н., Щеглов М.А. Экспериментальная отработка проводки электронного пучка ВЧ инжектора для резонансного ускорителя БЭТА-8 // Проблемы физики высоких плотностей энергии: труды международной конференции "XVIII Харитоновские тематические научные чтения", [Саров], 19 - 22 апреля 2016 г.: сборник докладов. - Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2017. - Т. 1. - С. 121-127. - Библиогр.: 6 назв.
- [697] Аракчеев, А.С., Лазарева Г.Г., Максимова А.Г. Математическое моделирование эрозии вольфрама при импульсном тепловом воздействии // Всероссийская конференция с международным участием "Современные проблемы механики сплошных сред и физики взрыва", посвященная 60-летию Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, [Новосибирск], 4 - 8 сентября 2017 г.: тезисы докладов. - Новосибирск: Ин-т гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН, 2017. - С. 30.
- [698] Аракчеев А.С., Лазарева Г.Г., Максимова А.Г. Математическое моделирование эрозии материала стенки термоядерного реактора при воздействии на него мощных импульсных потоков плазмы // Математика в современном мире: Международная конференция, посвященная 60-летию

Института математики им. С.Л.Соболева, Новосибирск, Россия, 14 - 19 августа 2017 г.: тезисы докладов. - Новосибирск: Ин-т математики им. С.Л.Соболева СО РАН, 2017. - С. 380.

[699] Бибердорф, Э. А., Блинова М.А., Попова Н.И. Развитие метода дихотомии матричного спектра // Математика в современном мире: Международная конференция, посвященная 60-летию Института математики им. С.Л.Соболева, Новосибирск, Россия, 14 - 19 августа 2017 г.: тезисы докладов. - Новосибирск: Ин-т математики им. С.Л.Соболева СО РАН, 2017. - С. 383. - Библиогр.: 2 назв.

[700] Чащина, О.И., Фут Р., Силагадзе З.К. Соотношение для радиального ускорения и диссипативная темная материя // Математика в современном мире: Международная конференция, посвященная 60-летию Института математики им. С.Л.Соболева, Новосибирск, Россия, 14 - 19 августа 2017 г.: тезисы докладов. - Новосибирск: Ин-т математики им. С.Л.Соболева СО РАН, 2017. - С. 579. - Библиогр.: 1 назв.

[701] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Constraints on anomalous Higgs boson couplings using production and decay information in the four-lepton final state // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 775. - P. 1-24. - Bibliogr.: 58 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.10.021.

[702] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for a heavy composite Majorana neutrino in the final state with two leptons and two quarks at $\sqrt{s} = 13\text{TeV}$ // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 775. - P. 315-337. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.11.001.

[703] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the cross-section for electroweak production of dijets in association with a Z boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 13\text{TeV}$ with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 775. - P. 206-228. - Bibliogr.: 54 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.10.040.

[704] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for new phenomena in high-mass diphoton final states using 37fb^{-1} of proton-proton collisions collected at $\sqrt{s} = 13\text{TeV}$ with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 775. - P. 105-

125. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.10.039.

[705] Lazurenko D.V., Bataev I.A., Laptev I.S., Ruktuev A.A., Maliutina I.N., Golkovsky M.G., Bataev A.A. Formation of Ti-Al intermetallics on a surface of titanium by non-vacuum electron beam treatment // Materials Characterization. - 2017. - Vol. 134. - P. 202-212. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1016/j.matchar.2017.10.024.

[706] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Y.I., Solodov E.P., Todyshev K.Y. Measurement of the $D^*(2010)^+ - D^+$ Mass Difference // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 119, № 20. - Art.nr 202003. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.202003.

[707] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Y., Nikolaev I.B. Dark photon search in the mass range between 1.5 and 3.4 GeV/c² // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 774. - P. 252-257. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.09.067.

[708] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Y., Nikolaev I.B. Measurement of cross sections of the interactions $e^+e^- \rightarrow \phi\phi\omega$ and $e^+e^- \rightarrow \phi\phi\phi$ at center-of-mass energies from 4.008 to 4.600 GeV // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 774. - P. 78-86. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.09.021.

[709] Adlarson P., WASA-at-COSY Collab., Bondar A., Kuzmin A., Shwartz B. Isoscalar single-pion production in the region of Roper and $d^*(2380)$ resonances // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 774. - P. 599-607. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.10.015.

[710] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of B^0 , B_s^0 , B^+ and Λ_b^0 production asymmetries in 7 and 8 TeV proton-proton collisions // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 774. - P. 139-158. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.09.023.

[711] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Prompt and nonprompt J/ψ production and nuclear modification in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16\text{TeV}$ // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 774. - P. 159-178. - Bibliogr.: 76 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.09.058.

[712] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Measurement of vector boson scattering and constraints on anomalous quartic couplings from events with four leptons and two jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13\text{TeV}$ // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 774. - P. 682-705. - Bibliogr.: 58 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.10.020.

- [713] Acharya, S., ALICE Collab., Pestov Y. Measuring $K_s^0 K^\pm$ interactions using Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV // *Physics Letters B.* - 2017. - Vol. 774. - P. 64-77. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.09.009.
- [714] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for heavy resonances decaying to a W or Z boson and a Higgs boson in the $q\bar{q}^{(\prime)} b\bar{b}$ final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // *Physics Letters B.* - 2017. - Vol. 774. - P. 494-515. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.09.066.
- [715] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for Heavy Higgs Bosons A /H Decaying to a Top Quark Pair in pp Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 119, № 19. - Art.nr 191803. - Bibliogr.: 71 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.191803.
- [716] Horiguchi T., Belle Collab., Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Evidence for Isospin Violation and Measurement of CP Asymmetries in $B \rightarrow K^*(892)\gamma$ // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 119, № 19. - Art.nr 191802. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.191802.
- [717] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Search for Baryon-Number Violating Ξ_b^0 Oscillations // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 119, № 18. - Art.nr 181807. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.181807.
- [718] Gauzshtein V.V., Gramolin A.V., Zevakov S.A., Levchuk M.I., Loginov A.Y., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.S., Toporkov D.K., Shestakov Y.V. Spectrum of Virtual Photons in the Electroproduction of Negatively Charged Pions on Deuterons // *Russian Physics Journal.* - 2017. - Vol. 60, № 7. - P. 1182-1188. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1007/s11182-017-1193-5.
- [719] Setiniyaz S., Park S.H., Kim H.W., Vinokurov N.A., Jang K.-H., Lee K., Baek I.H., Jeong Y.U. THz-pump and X-ray-probe sources based on an electron linac // *Review of Scientific Instruments.* - 2017. - Vol. 88, № 11. - Art.nr 113306. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1063/1.5006550.
- [720] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Y., Nikolaev I.B. Measurement of integrated luminosity and center-of-mass energy of data taken by BESIII at $\sqrt{s} = 2.125$ GeV // *Chinese Physics C.* - 2017. - Vol. 41, № 11. - Art.nr 113001. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1088/1674-1137/41/11/113001.
- [721] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Updated branching fraction measurements of $B_s^0 \rightarrow K_s^0 h^+ h'^-$ decays // *Journal of High Energy Physics.* - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 27. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)027.
- [722] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Study of $b\bar{b}$ correlations in high energy proton-proton collisions // *Journal of High Energy Physics.* - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 30. - Bibliogr.: 96 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)030.
- [723] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for a light pseudoscalar Higgs boson produced in association with bottom quarks in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // *Journal of High Energy Physics.* - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 10. - Bibliogr.: 66 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)010.
- [724] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for Dark Matter Produced in Association with a Higgs Boson Decaying to $b\bar{b}$ Using 36 fb^{-1} of pp Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS Detector // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 119, № 18. - Art.nr 181804. - Bibliogr.: 83 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.181804.
- [725] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of b-hadron pair production with the ATLAS detector in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // *Journal of High Energy Physics.* - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 62. - Bibliogr.: 62 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)062.
- [726] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Observation of D^0 Meson Decays to $\pi^+\pi^-\mu^+\mu^-$ and $K^+K^-\mu^+\mu^-$ Final States // *Physical Review Letters.* - 2017. - Vol. 119, № 18. - Art.nr 181805. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.181805.

- [727] Grozin A.G., Mannel T., Pivovarov A.A. Towards a next-to-next-to-leading order analysis of matching in $B^0 - \bar{B}^0$ mixing // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 7. - Art.nr 074032. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.074032.
- [728] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Measurement of the differential cross sections for the associated production of a W boson and jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 7. - Art.nr 072005. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.072005.
- [729] Li Y., Xia G., Lotov K.V., Sosedkin A. P., Hanahoe K., Mete-Apsimon O. High-quality electron beam generation in a proton-driven hollow plasma wakefield accelerator // *Physical Review Accelerators and Beams*. - 2017. - Vol. 20, № 10. - Art.nr 101301. - Bibliogr.: 57 ref. - DOI 10.1103/PhysRevAccelBeams.20.101301.
- [730] Dolgov, A.D., Godunov S.I., Rudenko A.S. Domain Walls and Matter-Antimatter Domains in the Early Universe // *EPJ Web of Conferences*. - 2017. - Vol. 158: The XXIII International Workshop “High Energy Physics and Quantum Field Theory” (QFTHEP 2017), 26 June - 3 July 2017, Yaroslavl. - Art.nr 05001. - P. 11. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201715805001.
- [731] Dash N., Belle Collab., Aulchenko V., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Search for CP Violation and Measurement of the Branching Fraction in the Decay $D^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0$ // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 17. - Art.nr 171801. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.171801.
- [732] Shchegolev P.B., Minaev V.B., Telnova A.Yu., Bakharev N.N., Goncharov P.R., Gusev V.K., Kurskiev G.S., Miroshnikov I.V., Patrov M.I., Petrov Yu.V., Sakharov N.V., Shikhovtsev I.V., Tolstyakov S.Yu. Globus-M2 NBI upgrade and updated NBCD results obtained on spherical tokamak Globus-M // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2017. - Vol. 907, Is. 1. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/907/1/012013.
- [733] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for Higgs boson pair production in the $b\bar{b}\tau\tau$ final state in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 7. - Art.nr 072004. - Bibliogr.: 76 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.072004.
- [734] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Jet energy scale measurements and their systematic uncertainties in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 7. - Art.nr 072002. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.072002.
- [735] Kubarev V.V. Pulses, coherency, and spectra of the NovoFEL radiation // 42 International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Cancun, Mexico, 27 August - 1 September 2017. - Danvers: IEEE, 2017. - Art.nr 8067075. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2017.8067075.
- [736] Choporova Y.Y., Knyazev B.A., Osintseva N.D., Pavelyev V.S., Volodkin B.O. Transformation of mode contains of novosibirsk FEL radiation and focusing in determined areas and volumes // 42 International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Cancun, Mexico, 27 August - 1 September 2017. - Danvers: IEEE, 2017. - Art.nr 8067074. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2017.8067074.
- [737] Arzhannikov A.V., Ginzburg N.S., Kalinin P.V., Peskov N.Y., Kuznetsov S.A., Sergeev A.S., Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Thumm M., Zaslavsky V.Y. Powerful multichannel schemes of spatially-extended planar FEMs operated with two-dimensional distributed feedback // 42 International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Cancun, Mexico, 27 August - 1 September 2017. - Danvers: IEEE, 2017. - Art.nr 8067076. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2017.8067076.
- [738] Semenova A.V., Choporova Yu.Yu., Cherkasova O.P., Vaks V.L., Smolyanskaya O.A. Experimental and theoretical study of DNA gyrotropy at THz frequencies // 42 International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Cancun, Mexico, 27 August - 1 September 2017. - Danvers: IEEE, 2017. - Art.nr 8067200. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2017.8067200.
- [739] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y. Search for leptophobic Z' bosons decaying into four-lepton final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 773. - P. 563-584. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.08.069.
- [740] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the W^+W^- production cross section in pp collisions at a centre-of-mass energy of $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS experiment // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 773. - P. 354-374. - Bibliogr.: 72 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.08.047.

- [741] Rudenko A.S. $f_1(1285) \rightarrow e^+e^-$ decay and direct f_1 production in e^+e^- collisions // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 7. - Art.nr 076004. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.076004.
- [742] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Y. Evidence for CP violation in $B^+ \rightarrow K^{*0}(892)\pi^0$ from a Dalitz plot analysis of $B^+ \rightarrow K^{*0}\pi^+\pi^0$ decays // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 7. - Art.nr 072001. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.072001.
- [743] Royak M.E., Stupakov I.M., Kondratyeva N.S., Vinokurov N.A., Shevchenko O.A., Serednyakov S.S., Gorbachev Y.I. Application of a new model of residual magnetization of iron for calculating the deflecting magnet of an accelerator // *Technical Physics Letters*. - 2017. - Vol. 43, № 10. - P. 924-927. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1134/S1063785017100248.
- [744] Kutlin, A. G., Gospodchikov E.D., Shalashov A.G. Linear coupling of the fast extraordinary wave to electrostatic plasma oscillations: A revised theory // *Physics of Plasmas*. - 2017. - Vol. 24, № 10. - Art.nr 102133. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1063/1.5001146.
- [745] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for associated production of dark matter with a Higgs boson decaying to $b\bar{b}$ or $\gamma\gamma$ at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 180. - Bibliogr.: 70 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)180.
- [746] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A. Search for new high-mass phenomena in the dilepton final state using 36.1 fb^{-1} of proton-proton collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 182. - Bibliogr.: 59 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)182.
- [747] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of inclusive and differential cross sections in the $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 132. - Bibliogr.: 119 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)132.
- [748] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Y., Nikolaev I.B. Observation of the decay $\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^-\pi^+\pi^0$ // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 772. - P. 388-393. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.06.065.
- [749] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for high-mass $Z\gamma$ resonances in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ and 13 TeV using jet substructure techniques // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 772. - P. 363-387. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.06.062.
- [750] Krachkov, P.A., Milstein A.I. Coulomb effects in high-energy e^+e^- electroproduction by a heavy charged particles in an atomic field // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 771. - P. 5-8. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.05.028.
- [751] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Y., Nikolaev I.B. Measurements of cross section of $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}\pi^0$ at center-of-mass energies between 4.008 and 4.600 GeV // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 771. - P. 45-51. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.05.033.
- [752] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of CP asymmetries in $D^{\pm} \rightarrow \eta'\pi^{\pm}$ and $D_s^{\pm} \rightarrow \eta^{\pm}$ decays // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 771. - P. 21-30. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.05.013.
- [753] Khachatryan V., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for single production of a heavy vector-like T quark decaying to a Higgs boson and a top quark with a lepton and jets in the final state // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 771. - P. 80-105. - Bibliogr.: 60 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.05.019.
- [754] Bulgakova V.V., Gerasimov V.V., Goldenberg B.G., Lemzyakov A.G., Malkin A.M. Study of terahertz spoof surface plasmons on subwavelength gratings with dielectric substance in grooves // *Procedia Engineering*. - 2017. - Vol. 201: 3rd International Conference on Information Technology and Nanotechnology, ITNT 2017, Samara, 25 - 27 April 2017. - P. 14-23. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1016/j.proeng.2017.09.638.
- [755] Juarez R., Guirao J., Kolsek A., Kochergin M., Pedroche G., Lopez-Revelles A.J., Udintsev V., Bertalot L., Ivantsky M., Zonkov A., Alexandrov A., Sanz J., Walsh A.M. How to reduce shutdown dose rates in ITER diagnostics quatorial ports // *Transactions of the American Nuclear Society*. - 2017. - Vol. 116: 2017 Transactions of the American Nuclear Society, ANS 2017, San Francisco, US, 11 -15 June 2017. - P. 268-271.
- [756] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Bose-Einstein correlations of same-sign charged pions in the forward region in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 12. - Art.nr 25. - Bibliogr.: 69 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2017)025.

- [757] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Updated search for long-lived particles decaying to jet pairs // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 12. - Art.nr 812. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5178-x.
- [758] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Analysis of the Wtb vertex from the measurement of triple-differential angular decay rates of single top quarks produced in the t -channel at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 12. - Art.nr 17. - Bibliogr.: 107 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2017)017.
- [759] Lees J.P., BABAR Collab., Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Y. Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ cross section using initial-state radiation at BABAR // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 9. - Art.nr 092009. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.092009.
- [760] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Study of ordered hadron chains with the ATLAS detector // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 9. - Art.nr 092008. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.092008.
- [761] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Y., Nikolaev I.B. Improved measurements of two-photon widths of the χ_{c1} states and helicity analysis for $\chi_{c2} \rightarrow \gamma\gamma$ // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 9. - Art.nr 092007. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.092007.
- [762] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. χ_{c1} and χ_{c2} Resonance Parameters with the Decays $\chi_{c1,c2} \rightarrow j/\psi\mu^+\mu^-$ // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 22. - Art.nr 221801. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.221801.
- [763] Ablikim M., BESIII Collab., Achasov M.N., Muchnoi N.Y., Nikolaev I.B. Search for the rare decay $D^+ \rightarrow D^{01} + \nu^1$ // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 9. - Art.nr 092002. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.092002.
- [764] Gurova O.A., Omelyanchuk L.V., Dubatolova T.D., Antokhin E.I., Eliseev V.S., Yushina I.V., Okotrub A.V. Synthesis and modification of carbon nanohorns structure for hyperthermic application // *Journal of Structural Chemistry*. - 2017. - Vol. 58, № 6. - P. 1205-1212. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1134/S0022476617060191.
- [765] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of CP observables in $B^\pm \rightarrow DK^{*\pm}$ decays using two- and four-body D final states // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 156. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)156.
- [766] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of CP violation in $B^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$ and $B^0 \rightarrow \Psi(2S)K_s^0$ decays // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 170. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)170.
- [767] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for electroweak production of charginos and neutralinos in WH events in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 29. - Bibliogr.: 87 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)029.
- [768] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for pair production of vector-like T and B quarks in single-lepton final states using boosted jet substructure in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 85. - Bibliogr.: 73 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)085.
- [769] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for supersymmetry in events with b -tagged jets and missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 195. - Bibliogr.: 88 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)195.
- [770] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the $t\bar{t}\gamma$ production cross section in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 86. - Bibliogr.: 65 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)086.

- [771] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurements of top-quark pair differential cross-sections in the lepton+jets channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 191. - Bibliogr.: 98 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)191.
- [772] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of lepton differential distributions and the top quark mass in $t\bar{t}$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 11. - Art.nr 804. - Bibliogr.: 140 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5349-9.
- [773] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of detector-corrected observables sensitive to the anomalous production of events with jets and large missing transverse momentum in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 11. - Art.nr 765. - Bibliogr.: 90 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5315-6.
- [774] Grigoreva T.F., Tolochko B.P., Logachev P.V., Ancharov A.I., Vosmerikov S.V., Devyatkina E.T., Udalova T.A., Vorsina I.A., Pastukhov E.A., Lyakhov N.Z. Synthesis of hafnium carbide by mechanochemistry and irradiation // *Russian Metallurgy (Metally)*. - 2017. - Vol. 2017, № 8. - P. 660-663. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1134/S0036029517080079.
- [775] Shwartz B.A. Scintillation detectors in experiments on high energy physics // *Springer Proceedings in Physics*. - 2017. - Vol. 200: International Conference on Engineering of Scintillation Materials and Radiation Technologies: ISMART 2016, 26-30 January 2016, Minsk, Belarus. - P. 211-230. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1007/978-3-319-68465-9_13.
- [776] Romashchenko A.V., Petrovskii D.V., Sharapova M.B., Moshkin Y.M., Kuper K.E., Morozova K.N., Kiseleva E.V., Moshkin M.P. Olfactory transport efficiency of the amorphous and crystalline manganese oxide nanoparticles (Abstract) // *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii*. - 2017. - Vol. 21, № 7. - P. 848-855. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.18699/VJ17.305.
- [777] Vasiliev A.A., Palchikov E.I., Kubarev V.V., Chesnokov E.N., Koshlyakov P.V., Dolgikh A.V., Krasnikov I.Yu. Terahertz radiation as new technique for research of burning and detonation // 9th International Seminar on Flame Structure: 9 ISFS, Novosibirsk, Russia, July 10-14, 2017: book of abstracts. - Novosibirsk: Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, 2017. - P. 85.
- [778] Acharya, S., ALICE Collab., Pestov Y. J/ψ Elliptic Flow in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 24. - Art.nr 242301. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.242301.
- [779] Badrutdinov A., Bykov T., Gromilov S., Higashi Y., Kasatov D., Kolesnikov I., Koshkarev A., Makarov A., Miyazawa T., Shchudlo I., Sokolova E., Sugawara H., Taskaev S. In situ observations of blistering of a metal irradiated with 2-MeV protons // *Metals*. - 2017. - Vol. 7, № 12. - Art.nr 558. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.3390/met7120558.
- [780] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. First Observation of the Rare Purely Baryonic Decay $B^0 \rightarrow p\bar{p}$ // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 23. - Art.nr 232001. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.232001.
- [781] Peltek S.E., Demidova E.V., Popik V.M., Goryachkovskaya T.N. Stress-induced systems in *Escherichia coli* and their response to terahertz radiation // *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. - 2017. - Vol. 7, № 8. - P. 858-868. - Bibliogr.: 84 ref. - DOI 10.1134/S2079059717080019.
- [782] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the B_{\pm} production cross-section in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 13 TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 12. - Art.nr 26. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2017)026.
- [783] Acharya, S., ALICE Collab., Pestov Y. Charged-particle multiplicity distributions over a wide pseudorapidity range in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 0.9, 7,$ and 8 TeV // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 12. - Art.nr 852. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5412-6.
- [784] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for Evidence of the Type-III Seesaw Mechanism in Multilepton Final States in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 22. - Art.nr 221802. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.221802.

[785] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for new phenomena with large jet multiplicities and missing transverse momentum using large-radius jets and flavour-tagging at ATLAS in 13 TeV pp collisions // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 12. - Art.nr 34. - Bibliogr.: 105 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2017)034.

[786] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Determination of the strong coupling constant α_s from transverse energy–energy correlations in multijet events at $\sqrt{s} = 8$ TeV using the ATLAS detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 12. - Art.nr 872. - Bibliogr.: 87 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5442-0.

[787] Beleno C., Belle Collab., Bobrov A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Matvienko D., Shebalin V., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Measurement of the decays B and B in fully reconstructed events at Belle // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 9. - Art.nr 091102. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.091102.

[788] Grygier J., Belle Collab., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V. Search for $B \rightarrow hv\bar{\nu}$ decays with semileptonic tagging at Belle // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 9. - Art.nr 091101. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.091101.

[789] Pugachev K. Experiment Management System for the SND Detector // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2017. - Vol. 898, № 4: 22nd International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics, CHEP 2016, San Francisco, US, 10 - 14 October 2016. - Art.nr 042039. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/898/4/042039.

[790] Kim D.Y., Ritter M., Bilka T., Bobrov A., Casarosa G., Chilikin K., Ferber T., Godang R., Jaegle I., Kandra J., Kodys P., Kuhr T., Kvasnicka P., Nakayama H., Piilonen L., Pulvermacher C., Santelj L., Schwenker B., Sibidanov A., Soloviev Y., Staric M., Uglov T. The simulation library of the Belle II software system // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2017. - Vol. 898, № 4: 22nd International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics, CHEP 2016, San Francisco, US, 10 - 14 October 2016. - Art.nr 042043. - DOI 10.1088/1742-6596/898/4/042043.

[791] Бродников, А. Ф., Вихарева Н.А., Черепанов В.Я. Измерения и эталоны тепловых величин. - Новосибирск: Новосибирский филиал АСМС, 2017. - 178 с.: цв.ил.

[792] Ромащенко А.В., Петровский Д.В., Шарапова М.Б., Мошкин Ю.М., Купер К.Э., Морозова К.Н., Киселева Е.В., Мошкин М.П. Эффективность ольфакторного транспорта аморфных и кристаллических наночастиц оксидов марганца // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. - 2017. - Т. 21, № 7. - С. 848-855. - Библиогр.: 35 назв. - DOI 10.18699/VJ17.305.

[793] Бывальцев В.А., Степанов И.А., Кичигин А.И., Каныгин В.В., Ступак В.В. Роль диффузионно-взвешенной магниторезонансной томографии в дифференциальной диагностике и прогнозировании выживаемости пациентов с метастазами в головной мозг // *Вестник Российской академии медицинских наук*. - 2017. - Т. 72, № 6. - С. 442-449. - Библиогр.: 35 назв. - DOI 10.15690/vramn890.

[794] Бахарев Н.Н., Гончаров П.Р., Гусев В.К., Давыденко В.И., Задвитский Г.В., Курский Г.С., Мельник А.Д., Минаев В.Б., Миронов М.И., Патров М.И., Петров Ю.В., Сахаров Н.В., Сладкомедова А.Д., Тельнова А.Ю., Толстяков С.Ю., Чернышев Ф.В., Щеголев П.Б. Первые эксперименты по контринъекции атомов высокой энергии на токамаке Глобус-М // *Журнал технической физики*. - 2017. - Т. 87, № 12. - С. 1814-1818. - Библиогр.: 19 назв. - DOI 10.21883/JTF.2017.12.45203.2273.

[795] Герасимов В.В., Никитин А.К., Хасанов И.Ш., Та Т.Т. Спектр термостимулированных поверхностных плазмон-поляритонов линейного образца // *Оптика и спектроскопия*. - 2017. - Т. 123, № 6. - С. 890-899. - Библиогр.: 20 назв. - DOI 10.7868/80030403417120200.

[796] Жукавин Р.Х., Ковалевский К.А., Сергеев С.М., Чопорова Ю.Ю., Герасимов В.В., Цыпленков В.В., Князев Б.А., Абросимов П.В., Павлов С.Г., Шастин В.Н., Шнайдер Г., Дессман Н., Шевченко О.А., Винокуров Н.А., Кулипанов Г.Н., Хьюберс Г.В. Времена низкотемпературной внутрицентральной релаксации мелких доноров в Ge // *Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики"*. - 2017. - Т. 106, № 9/10. - С. 555-560. - Библиогр.: 13 назв. - DOI 10.7868/S0370274X17210044.

[797] Бондарь А.Е., Бузулуцков А.Ф., Гришняев Е.С., Долгов А.Д., Носов В.В., Олейников В.П., Полосаткин С.В., Соколов А.В., Шемякина Е.О., Шехтман Л.И. Измерение ионизационных выходов ядер отдачи в жидком аргоне с помощью двухфазного детектора с оптическим считыванием // *Сибирский физический журнал*. - 2017. - Т. 12, № 3. - С. 16-23. - Библиогр.: 32 назв. - DOI 10.25205/2541-9447-2017-12-3-16-23.

- [798] Бондарь А.Е., Бузулуцков А.Ф., Долгов А.Д., Носов В.В., Олейников В.П., Соколов А.В., Фролов Е.А., Шемякина Е.О., Шехтман Л.И. Исследование пропорциональной электролюминесценции в двухфазном аргоне // Сибирский физический журнал. - 2017. - Т. 12, № 3. - С. 5-15. - Библиогр.: 25 назв. - DOI 10.25205/2541-9447-2017-12-3-5-15.
- [799] Демьянов Б.Ф., Никифоров А.Г., Старостенко А.А., Цыганов А.С., Медведев А.М., Семенов Ю.И. Микроструктура зоны расплава в нержавеющей стали после глубокого электронно-лучевого воздействия // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2017. - Т. 14, № 4. - С. 513-518. - Библиогр.: 19 назв.
- [800] Скринский А.Н. ИЯФ вырос из леса вместо грибов // Наука из первых рук. - 2017. - № 2/3 (74). - С. 36-49. - Библиогр.: 3 назв.
- [801] Кулипанов Г.Н. Академгородок - место встречи // Наука из первых рук. - 2017. - № 2/3 (74). - С. 50-61.
- [802] Пархомчук В.В. Здесь сбывались мечты // Наука из первых рук. - 2017. - № 2/3 (74). - С. 62-71. - Библиогр.: 4 назв.
- [803] Макальский И.Д. Генерал-лаборант, или "уполномочен решать все вопросы" // Наука из первых рук. - 2017. - № 2/3 (74). - С. 72-79. - Библиогр.: 2 назв.
- [804] Силагадзе З.К. Увидеть антизвезду // Наука и жизнь. - 2017. - № 5. - С. 8-19.
- [805] Zelenski A., Atoian G., Raparia D., Ritter J., Kolmogorov A., Davydenko V. High-intensity polarized H-ion source for the RHIC SPIN physics // 5th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS'16), St. Anne's College, Oxford, UK, 12-16 September, 2016. - Melville: AIP, 2017. - Art.nr 030015. - (AIP Conference Proceedings; Vol.1869). - DOI 10.1063/1.4995735.
- [806] Minaev V.B., Gusev V.K., Sakharov N.V., Varfolomeev V.I., Bakharev N.N., Belyakov V.A., Bondarchuk E.N., Brunkov P.N., Chernyshev F.V., Davydenko V.I., Dyachenko V.V., Kavin A.A., Khitrov S.A., Khromov N.A., Kiselev E.O., Kononov A.N., Kornev V.A., Kurskiev G.S., Labusov A.N., Melnik A.D., Mineev A.B., Mironov M.I., Miroshnikov I.V., Patrov M.I., Petrov Yu.V., Rozhansky V.A., Saveliev A.N., Senichenkov I.Yu., Shchegolev P.B., Shcherbinin O.N., Shikhovtsev I.V., Sladkomedova A.D., Solokha V.V., Tanchuk V.N., Telnova A.Yu., Tokarev V.A., Tolstyakov S.Yu., Zhilin E.G. Spherical tokamak Globus-M2: Design, integration, construction // Nuclear Fusion. - 2017. - Vol. 57, № 6. - Art.nr 066047. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1088/1741-4326/aa69e0.
- [807] Суляев Ю.С., Александров Е.В., Борисов А.А., Бурдаков А.В., Иванцовский М.В., Пищинский К.В., Шарафеева С.Р., Шиянков С.В., Люблин Б.В., Сенник К.С., Танчук В.Н., Гапионков Е.И., Белов А.В., Лабусов А.Н., Хохлов М.В. Интеграция диагностических систем и инженерные расчеты для экваториального порта №11 ИТЭР // XVII Всероссийская конференция "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород, 13 - 17 июня 2017 г.: программа конференции, тезисы докладов. - Москва: Тривант, 2017. - С. 46-47.
- [808] Александров Е.В., Бурдаков А.В., Булаков И.В., Горбовский А.И., Зайцев Е.К., Иванцовский М.В., Листопад А.А., Логинов И.Н., Манаенкова Ю.А., Модестов В.С., Селезнев П.А., Шагниев О.Б., Шиянков С.В., Шошин А.А. Предварительный проект интеграции ВП №02 и ВП № 08 ИТЭР // XVII Всероссийская конференция "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород, 13 - 17 июня 2017 г.: программа конференции, тезисы докладов. - Москва: Тривант, 2017. - С. 53-54.
- [809] Борисенко Я.А., Лизунов А.А., Хильченко А.Д., Васильева Н.Г., Моисеев Д.В., Зубарев П.В. Томографическая система для измерения пространственных профилей интенсивности излучения плазмы в видимом диапазоне в расширителе газодинамической ловушки // XVII Всероссийская конференция "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород, 13 - 17 июня 2017 г.: программа конференции, тезисы докладов. - Москва: Тривант, 2017. - С. 79-80. - Библиогр.: 1 назв.
- [810] Воробьев В.А., Джурик А.С., Зубарев П.В., Хильченко А.Д. Регистратор сигналов камеры деления // XVII Всероссийская конференция "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород, 13 - 17 июня 2017 г.: программа конференции, тезисы докладов. - Москва: Тривант, 2017. - С. 111-112.
- [811] Пинженин, Е. И., Максимов В.В. Диагностики продуктов термоядерной реакции на установке ГДЛ // XVII Всероссийская конференция "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород, 13 - 17 июня 2017 г.: программа конференции, тезисы докладов. - Москва: Тривант, 2017. - С. 116-117. - Библиогр.: 4 назв.
- [812] Гринемайер, К. А., Лизунов А.А., Хильченко А.Д. Измерительный и управляющий комплекс MSE-LIF диагностики // XVII Всероссийская конференция "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород, 13 - 17 июня 2017 г.: программа конференции, тезисы докладов. - Москва: Тривант, 2017. - С. 168.
- [813] Пурьга Е.А., Иваненко С.В., Квашнин А.Н., Хильченко А.Д., Зубарев П.В., Моисеев Д.В. Быстродействующий регистратор для диагностики томсоновского рассеяния // XVII Всероссийская конференция "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород, 13 - 17 июня 2017 г.: программа конференции, тезисы докладов. - Москва: Тривант, 2017. - С. 171-172.

- [814] Моисеев Д.В., Зубарев П.В., Иваненко С.В., Квашнин А.Н., Пурыга Е.А., Хильченко А.Д., Хильченко В.А. Подсистемы гальванической развязки для нейтронной диагностики ДМНП // XVII Всероссийская конференция "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород, 13 - 17 июня 2017 г.: программа конференции, тезисы докладов. - Москва: Тривант, 2017. - С. 173-174.
- [815] Зубарев П.В., Квашнин А.Н., Моисеев Д.В., Хильченко А.Д., Кашук Ю.А., Голачев В.М., Семенов И.Б., Миронова Е.Ю., Портоне С.С. Архитектура системы регистрации, сбора и обработки данных ВНК // XVII Всероссийская конференция "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород, 13 - 17 июня 2017 г.: программа конференции, тезисы докладов. - Москва: Тривант, 2017. - С. 175-176.
- [816] Иваненко С.В., Терещенко А.Ф., Пурыга Е.А., Квашнин А.Н., Зубарев П.В., Хильченко А.Д. Система сбора данных на основе гальванически изолированных АЦП // XVII Всероссийская конференция "Диагностика высокотемпературной плазмы", Звенигород, 13 - 17 июня 2017 г.: программа конференции, тезисы докладов. - Москва: Тривант, 2017. - С. 177-178.
- [817] Bulgakova, V., Gerasimov V.V. Study of terahertz spoof plasmons on conductive surface with dielectric // Progress through innovations, Новосибирск, 30 марта 2017 г.: тезисы Международной научно-практической конференции аспирантов и магистрантов. - Новосибирск: НГТУ, 2017. - С. 107-108.
- [818] Radchenko, O., Talyshev A.A. Interface of the level-2 trigger for the vertex detector and the drift chamber of the KEDR detector // Progress through innovations, Новосибирск, 30 марта 2017 г.: тезисы международной научно-практической конференции аспирантов и магистрантов. - Новосибирск: НГТУ, 2017. - С. 111.
- [819] Vinokurov N.A., Barnyakov A.M., Volkov V.N., Kolobanov E.I., Kuznetsov G.I., Kurkin G.Ya., Levichev A.E., Logachev P.V., Nikiforov D.A., Petrov V.M., Starostenko D.A., Tribendis A.G. Electron guns at the Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS: prospects for the use of photocathodes withnanosecond and subpicosecond laser drivers // Physics-USpekhi. - 2017. - Vol. 60, № 10. - P. 1034-1038. - DOI 10.3367/UFNe.2017.03.038141.
- [820] Reznichenko A., Terekhov I. Channel Capacity and Simple Correlators for Nonlinear Communication Channel at Large SNR and Small Dispersion // 2017 IEEE Information Theory Workshop (ITW), Kaohsiung, Taiwan, 6 - 10 November, 2017. - Kaohsiung, 2017. - P. 16.
- [821] Ilina M.A., Cheblakov P.B. Applying Ontological Approach to Storing Configuration Data // 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems: ICALEPCS 2017, Barcelona, Spain, 8 - 13 Oct. 2017: abstract book. - S.I.: JACoW, 2017. - Art.nr THMPL05. - Bibliogr.: 14 ref.
- [822] Fatkin G., Baluev A., Kotov E., Pavlenko A., Panov A., Batrakov A., Macheret Ya., Mamkin V., Selivanov A. New VME-Based Hardware for Automation in BINP // 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems: ICALEPCS 2017, Barcelona, Spain, 8 - 13 October 2017: abstract book. - S.I.: JACoW, 2017. - Art.nr THMPL10. - Bibliogr.: 6 ref.
- [823] Fatkin G., Baluev A., Bekhtenev E., Kotov E., Ottmar A., Pavlenko A., Panov A., Senchenko A., Serednyakov S., Batrakov A., Macheret Ya., Mamkin V., Shtro K., Selivanov A., Selivanov P., Singatulin S. LIA-20 Control System Project // 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems: ICALEPCS 2017, Barcelona, Spain, 8 - 13 October 2017: abstract book. - Proc of XXV Russian Particle Accelerator Conference (RuPAC-2016). Saint-Petersburg, Russia. 21-25 Nov 2016.S.I.: JACoW, Geneva, Switzerland, 2017. - P. 1485-1488. - Art.nr THPHA052. - Bibliogr.: 8 ref.
- [824] Kotov E.S., Batrakov A.M., Fatkin G.A., Pavlenko A.V., Shtro K.S., Vasilyev M.Yu. VME Based Digitizers for Waveform Monitoring System of Linear Induction Accelerator (LIA-20) // 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems: ICALEPCS 2017, Barcelona, Spain, 8 - 13 October 2017: abstract book. - S.I.: JACoW, 2017. - Art.nr THMPL09. - Bibliogr.: 1 ref.
- [825] Cheblakov, P. B., Emanov F.A., Bolkhovityanov D.Yu. New IT-Infrastructure of Accelerators at BINP // 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems: ICALEPCS 2017, Barcelona, Spain, 8 - 13 October 2017: abstract book. - S.I.: JACoW, 2017. - Art.nr THPHA048. - Bibl.: 9 ref.
- [826] Kozak V.R., Kuper E.A., Salikova T.V., Serednyakov S.S., Selivanov P.A., Tararyshkin S.V., Tribendis A.G., Vinokurov N.A. The Control System of Novosibirsk Free Electron Laser // 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems: ICALEPCS 2017, Barcelona, Spain, 8 - 13 October 2017: abstract book. - S.I.: JACoW, 2017. - Art.nr TUPHA051. - Bibliogr.: 4 ref.
- [827] Panov, A. N., Fatkin G.A. LIA-20 Experiment Protection System // 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems: ICALEPCS 2017, Barcelona, Spain, 8 - 13 October 2017: abstract book. - S.I.: JACoW, 2017. - Art.nr TUPHA103. - Bibliogr.: 2 ref.
- [828] Fatkin, G., Senchenko A. The Timing Diagram Editing and Verification Method // 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems: ICALEPCS 2017, Barcelona, Spain, 8 - 13 October 2017: abstract book. - S.I.: JACoW, 2017. -

Art.nr TUPHA087. - Geneva, Switzerland, 2017. - P. 615–617. - Bibliogr.: 5 ref.

[829] Senchenko A., Fatkin G., Serednyakov S.S., Selivanov P. Tango Based Software of Control System of LIA-20 // 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems: ICALEPCS 2017, Barcelona, Spain, 8 - 13 October 2017: abstract book. - S.l.: JACoW, 2017. - Geneva, Switzerland, 2017. - P. 813–815. - Art.nr TUPHA169. - Bibliogr.: 6 ref.

[830] Блинова, М.А., Попова Н.И., Бибердорф Э.А. Приложение дихотомии матричного спектра к исследованию устойчивости течений // Труды Международной конференции "Марчуковские научные чтения", Новосибирск, 25 июня - 14 июля 2017 года. - Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2017. - С. 106-112. - Библиогр.: 7 назв.

[831] Лазарева Г.Г., Аракчеев А.С., Васильев А.А., Вячеславов Л.Н., Касатов А.А., Кандауров И.В., Куркуचेков В.В., Попов В.А., Трунев Ю.А., Шошин А.А. Расчет теплоотвода рядом с трещинами, образовавшимися при импульсной тепловой нагрузке // Труды Международной конференции "Марчуковские научные чтения", Новосибирск, 25 июня - 14 июля 2017 года. - Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2017. - С. 504-508. - Библиогр.: 20 назв.

[832] Блинова, М.А., Попова Н.И., Бибердорф Э.А. Приложение дихотомии матричного спектра к исследованию устойчивости течений // Марчуковские научные чтения - 2017, Новосибирск, 25 июня - 14 июля 2017 г.: тезисы. - Новосибирск: Омега Принт, 2017. - С. 51. - Библиогр.: 2 назв.

[833] Reznichenko, A.V., Terekhov I.S. Channel Capacity Calculation at Large SNR and Small Dispersion with in Path-Integral Approach // 26th International Laser Physics Workshop: LPHYS'17, 17 - 21 July 2017, Kazan, Russia. - Kazan: KPhTI (Kazan E. K. Zavoisky Physical -Technical Institute), 2017. - P. 1-3. - Bibliogr.: 5 ref.

[834] Terekhov, I.S., Reznichenko A.V., Panarin A.A. Next-to-Leading Order Corrections to Capacity for Nondispersive Nonlinear Optical Fiber Channel in Intermediate Power Region // 26th International Laser Physics Workshop: LPHYS'17, 17 - 21 July 2017, Kazan, Russia. - Kazan: KPhTI (Kazan E. K. Zavoisky Physical -Technical Institute), 2017. - P. 1. - Bibliogr.: 4 ref.

[835] Solodov E.P., CMD-3 Collab., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Berkaev D.E., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G.V., Gayazov S.E., Grebenuk A.A., Gribanov S.S., Grigoriev D.N., Ivanov V.L., Ignatov F.V., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kirpotin A.N., Korobov A.A., Koop I.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krovovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Mikhailov K.Yu.,

Okhapkin V.S., Otboev A.V., Pestov Yu.N., Popov A.S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenenkov A.E., Senchenko A.I., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D.B., Sibidanov A.L., Shatunov P.Yu., Shatunov Yu.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V., Zemlyansky I.M. Study of the $e^+e^- \rightarrow$ hadrons reactions with CMD-3 detector at VEPP-2000 collider // The European Physical Society Conference on High Energy Physics: EPS-HEP 2017, Venice, Italy, 5 - 12 July 2017. - Trieste: INFN, 2017. - Art.nr PoS(EPS-HEP2017)407. - Bibliogr.: 13 ref.

[836] Druzhinin V.P., Achasov M.N., Barnyakov A.Yu., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Dimova T.V., Golubev V.B., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Korol A.A., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Kupich A.S., Martin K.A., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Serednyakov S.I., Shtol D.A., Silagadze Z.K., Surin I.K., Usov Yu.V., Vasiljev A.V. Recent results from the SND detector // The European Physical Society Conference on High Energy Physics: EPS-HEP 2017, Venice, Italy, 5 - 12 July 2017. - Trieste: INFN, 2017. - Art.nr PoS(EPS-HEP2017)371. - Bibliogr.: 15 ref.

[837] Bogomyagkov A., Druzhinin V., Levichev E., Milstein A., Sinyatkin S. Concept of a low energy electron-positron collider for dimuonium study // The European Physical Society Conference on High Energy Physics: EPS-HEP 2017, Venice, Italy, 5-12 July 2017. - Trieste: INFN, 2017. - Art.nr PoS(EPS-HEP2017)810. - Bibliogr.: 6 ref.

[838] Acharya, S., ALICE Collab., Pestov Y. Kaon femtoscopy in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV // Physical Review C. - 2017. - Vol. 96, № 6. - Art.nr 064613. - Bibliogr.: 63 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.96.064613.

[839] Kravchenko, E.A., Porosev V.V., Savinov G.A. Measurement of the time resolution of small SiPM-based scintillation counters // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 12. - Art.nr P12020. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/12/P12020.

[840] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Observation of Top Quark Production in Proton-Nucleus Collisions // Physical Review Letters. - 2017. - Vol. 119, № 24. - Art.nr 242001. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.242001.

[841] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Study of the material of the ATLAS inner detector for Run 2 of the LHC // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, № 12. - Art.nr P12009. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/12/12/P12009.

[842] Sirunyan A.M., CMS Collab., Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Principal-component analysis of two-particle azimuthal correlations in PbPb and pPb collisions at CMS // *Physical Review C*. - 2017. - Vol. 96, № 6. - Art.nr 064902. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.96.064902.

[843] Sokolov V.V. Neutron resonances: Widths distribution versus the Porter-Thomas law // *Acta Physica Polonica A*. - 2017. - Vol. 132, № 6: Proceedings of the 8th Workshop on Quantum Chaos and Localisation Phenomena, 19-21 May 2017, Warsaw, Poland. - P. 1704-1706. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.12693/APhysPolA.132.1704.

[844] Kotelnikov I.A., Chernoshtanov I.S., Prikhodko V.V. Electrostatic instabilities in a mirror trap revisited // *Physics of Plasmas*. - 2017. - Vol. 24, № 12. - Art.nr 122512. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1063/1.5013059.

[845] Ivanov I.A., Batkin V.I., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Kuklin K.N., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Postupaev V.V., Sidorov E.N., Rovenskikh A.F. Transportation of cold plasma jet in multiple-mirror magnetic field // *AIP Advances*. - 2017. - Vol. 7, № 12. - Art.nr 125121. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1063/1.5009528.

[846] Aaij R., LHCb Collab., Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V. Measurement of the $\Upsilon(nS)$ polarizations in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 12. - Art.nr 110. - Bibliogr.: 73 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2017)110.

[847] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for a scalar partner of the top quark in the jets plus missing transverse momentum final state at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 12. - Art.nr 85. - Bibliogr.: 95 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2017)085.

[848] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the Drell-Yan triple-differential cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 12. - Art.nr 59. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2017)059.

[849] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G.,

Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for direct top squark pair production in final states with two leptons in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector // *European Physical Journal C*. - 2017. - Vol. 77, № 12. - Art.nr 898. - Bibliogr.: 108 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5445-x.

[850] Shwartz, B., Belle II Collab., Electromagnetic calorimeter of the Belle II detector // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2017. - Vol. 928, № 1: 17th International Conference on Calorimetry in Particle Physics (CALOR2016), 15–20 May 2016, Daegu, South Korea. - Art.nr 012021. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/928/1/012021.

[851] Korol, A.A., Melnikova N.A. Geometric alignment of the SND detector // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2017. - Vol. 928, № 1: 17th International Conference on Calorimetry in Particle Physics (CALOR2016), 15–20 May 2016, Daegu, South Korea. - Art.nr 012010. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/928/1/012010.

[852] Akhmetshin R.R., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Bashtovoy N.S., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Grebenuk A.A., Grigoriev D.N., Kazanin V.F., Kovalenko O.A., Kozyrev A.N., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Mikhailov K.Y., Okhapkin V.S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Shebalin V.E., Shwartz B.A., Titov V.M., Talyshev A.A., Yudin Y.V. Calorimetry of the CMD-3 detector // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2017. - Vol. 928, № 1: 17th International Conference on Calorimetry in Particle Physics (CALOR2016), 15–20 May 2016, Daegu, South Korea. - Art.nr 012011. - DOI 10.1088/1742-6596/928/1/012011.

[853] Anisenkov, A., Di Girolamo A., Pradillo M.A. AGIS: Integration of new technologies used in ATLAS Distributed Computing // - 2017. - Vol. 898, Is. 9. - DOI 10.1088/1742-6596/898/9/092023.

[854] Alandes M., Andreeva J., Anisenkov A., Bagliesi G., Belforte S., Campana S., Dimou M., Flix J., Forti A., Di Girolamo A., Karavakis E., Lammel S., Litmaath M., Sciaba A., Valassi A. Consolidating WLCG topology and configuration in the Computing Resource Information Catalogue // - 2017. - Vol. 898, Is. 9. - DOI 10.1088/1742-6596/898/9/092042.

[855] Naumova E.V., Prinz V.Ya., Golod S.V., Seleznev V.A., Kubarev V.V. Terahertz systems comprising rolled-up metal microhelices and GaAs slabs // 2017 11th International Congress on Engineered Material Platforms for Novel Wave Phenomena, *Metamaterials 2017*,). - 2017. - P229-231. - DOI 10.1109/MetaMaterials.2017.8107900.

[856] Kuznetsov S.A., Arzhannikov A.V., Fedorinin V.N. Ultra-Thin metasurface absorbers for spectro-

polarimetric radiation detectors: In-depth electromagnetic analysis and practical design for subterahertz band // 2017 11th International Congress on Engineered Material Platforms for Novel Wave Phenomena, Metamaterials. - 2017. - P. 193-195. - DOI 10.1109/MetaMaterials.2017.8107887.

[857] Smolyanskiy P., Kozhevnikov D., Bakina O., Chelkov G., Dedovich D., Kuper K., Fabelo A.L., Zhemchugov A. Study of a GaAs:Cr-based Timepix detector using synchrotron facility // Journal of Instrumentation. - 2017. - Vol. 12, Is. 11. - DOI 10.1088/1748-0221/12/11/P11009.

[858] Anisenkov A.V. Computing resource Information catalog: The ATLAS Grid Information system evolution for other communities // CEUR Workshop Proceedings. - 2017. - Vol. 2023. - P1-5.

[859] Byvaltsev V.A., Stepanov I.A., Kichigin A.I., Kanigin V.V., Stupak V.V. The role of diffusion-weighted MRI in differential diagnosis and prediction of survival in patients with brain metastases // Vestnik Rossiiskoi Akademii Meditsinskikh Nauk. - 2017. - Vol. 72, Is. 6. - C. 442-449. - DOI 10.15690/vramn890.

[860] Bogdanchikov A.G., Druzhinin V.P., Korol A.A., Koshuba S.V., Tekutiev A.I., Usov Yu.V. SND DAQ system evolution // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 898, № 3: 22nd International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics, CHEP 2016, San Francisco, US, 10 - 14 October 2016. - Art.nr 032027. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/898/3/032027.

[861] Matvienko D.V., Sedov E.V., Shwartz B.A., Kuzmin A.S. Radiation Hardness Study of CsI(Tl) Crystals for the Belle II Calorimeter // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 55-64. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.55.

[862] Kozyrev E.A., Kuper K.E., Lemzyakov A.G., Petrozhitskiy A.V., Popov A. S. X-ray Tomography using Thin Scintillator Films // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 65-69. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.65.

[863] Razuvaev G.P., Akhmetshin R.R., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Bashtovoy N.S., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Grebenuk A.A., Grigoriev D.N., Kazanin V.F., Kovalenko O.A., Kozyrev A.N., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Ruban A.A., Shebalin V.E., Shwartz B.A., Titov V.M., Talyshev A.A., Yudin Yu.V. Calorimetry at the CMD-3 detector // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 71-76. -

Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.71.

[864] Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotovitch G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Griбанov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kovalenko O.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krovovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Sibidanov A. L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V. Charged Particle Identification using the Liquid Xenon Calorimeter of the CMD-3 Detector // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 77-84. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.77.

[865] Kozyrev A.N., Aulchenko V.M., Epshteyn L.B., Epifanov D.A., Logashenko I.B., Mikhailov K.Yu., Popov A.S., Ruban A.A., Selivanov A.N., Talyshev A.A., Titov V.M., Yudin Y.V. The CMD-3 Data Acquisition System // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 85-90. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.85.

[866] Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotovitch G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Griбанov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kovalenko O.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krovovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Pestov Y.N., Popov A.S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenenkov A.E., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V. Study of the Conversion Decays of Omega Meson to π^0 Meson and e^+e^- Pair Using the CMD-3 Detector // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 91-95. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.91.

[867] Ryzhenenkov A.E., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotovitch G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Griбанov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov

V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kovalenko O.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krovovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Pestov Y.N., Popov A.S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V. Current Status of Luminosity Measurement with the CMD-3 Detector at the VEPP-2000 e^+e^- collider // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 97-101. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.97.

[868] Blinov V.E., Ivakin V.O., Kaminskiy V.V., Kudryavtsev V.N., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Shekhtman L.I. Beam Energy Measurement by Resonant Depolarization Method at VEPP-4M // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 109-118. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.109.

[869] Kaminskiy V.V., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Zhilich V.N. Fast and Precise Beam Energy Measurement using Compton Backscattering at e^+e^- Colliders // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 119-126. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.119.

[870] Denisov A. P., Parkhomchuk V.V. Low Energy Electron Cooler for NICA Booster // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 135-143. - Bibliogr.: 2 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.135.

[871] Nikiforov D.A., Starostenko A.A., Logatchov P.V., Rusinov K. Application of a Low-Energy Electron Beam as a Tool for Ultrashort Bunch Length Measurement in Circular Machines // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 153-158. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.153.

[872] U-Heavy Flavor Averaging Group (HFLAV), Amhis Y., Banerjee S., Ben-Haim E., Bernlochner F., Bozek A., Bozzi C., Chrzaszcz M., Dingfelder J., Duell S., Gersabeck M., Gershon T., Gerstel D., Goldenzweig P., Harr R., Hayasaka K., Hayashii H., Kenzie M., Kuhr T., Leroy O., Lusiani A., Lyu X.R., Miyabayashi K., Naik P., Nanut T., Oyanguren Campos A., Patel M., Pedrini D., Petric M., Rama M., Roney M., Rotondo M., Schneider O., Schwanda C., Schwartz A.J., Serrano J.,

Shwartz B., Tesarek R., Tonelli D., Trabelsi K., Urquijo P., Van Kooten R., Yelton J., Zupanc A. Averages of b-hadron, c-hadron, and τ -lepton properties as of summer 2016 // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, Is. 12. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-5058-4.

[873] Vinokurov N.A., Barnyakov A.M., Volkov V.N., Kolobanov E.I., Kuznetsov G.I., Kurkin G.Ya., Levichev A.E., Logachev P.V., Nikiforov D.A., Petrov V.M., Starostenko D.A., Tribendis A.G. Electron guns at the Budker Institute of nuclear physics SB RAS: Prospects for the use of photocathodes withnanosecond and subpicosecond laser drivers // Physics-Uspekhi. - 2017. - Vol. 60, Is. 10. - P1034-1038. - DOI 10.3367/UFNe.2017.03.038141.

[874] Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G.V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Griбанov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kovalenko O.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krovovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V. Kaon Identification using the Tracking System of the CMD-3 Detector // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 159-163. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.159.

[875] Maltsev T.V. GEM Detectors in Experiments at e^+e^- Colliders in BINP // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 175-185. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.175.

[876] Ovtin I.V., Barnyakov A.Y., Barnyakov M.Y., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Katcin A. A., Kononov S.A., Kravchenko E.A., Kuyanov I.A., Onuchin A.P., Rodiakin V.A. Aerogel Cherenkov Counters of the KEDR Detector // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 187-194. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.187.

[877] Morozov I., Levichev E. Dynamical Aperture Control in Accelerator Lattices with Multipole Potentials // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e^+e^- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 195-206. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.195.

- [878] Gambaryan V., Starostenko A. Fast Kicker for High Current Beam Manipulation in Large Aperture // CERN Proceedings. - 2017. - Vol. 1: CERN-BINP Workshop for Young Scientists in e+e- Colliders: eCOL 2016, 22 - 25 August 2016, CERN, Geneva, Switzerland. - P. 207-216. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.23727/CERN-Proceedings-2017-001.207.
- [879] Khatsymovsky V.M. First-order discrete Faddeev gravity at strongly varying fields // Modern Physics Letters A. - 2017. - Vol. 32, № 35. - Art.nr 1750181. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1142/S0217732317501814.
- [880] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for top quark decays $t \rightarrow qH$, with $H \rightarrow \gamma\gamma$, in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions using the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 129. - Bibliogr.: 82 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)129.
- [881] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for pair production of heavy vector-like quarks decaying to high-p T W bosons and b quarks in the lepton-plus-jets final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 141. - Bibliogr.: 78 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)141.
- [882] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Searches for the $Z\gamma$ decay mode of the Higgs boson and for new high-mass resonances in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 112. - Bibliogr.: 110 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)112.
- [883] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Evidence for light-by-light scattering in heavy-ion collisions with the ATLAS detector at the LHC // Nature Physics. - 2017. - Vol. 13, № 9. - P. 852-858. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1038/nphys4208.
- [884] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Performance of the ATLAS trigger system in 2015 // European Physical Journal C. - 2017. - Vol. 77, № 5. - Art.nr 317. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-017-4852-3.
- [885] Evangelisti C., Guidotti M., Tiozzo C., Psaro R., Maksimchuk N., Ivanchikova I., Shmakov A.N., Kholdeeva O. Titanium-silica catalyst derived from defined metallic titanium cluster precursor: Synthesis and catalytic properties in selective oxidations // Inorganica Chimica Acta. - 2017. - Vol. 470. - P. 393-401. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1016/j.ica.2017.06.059.
- [886] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of jet p_T correlations in Pb + Pb and pp collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 474. - P. 379-402. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.09.078.
- [887] Aaboud M., ATLAS Collab., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Measurement of the cross section for inclusive isolated-photon production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2017. - Vol. 770. - P. 473-493. - Bibliogr.: 59 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.04.072.
- [888] Яценко А.С., Казаков В.В., Казаков В.Г., Мешков О.И. Информационная система «Электронная структура атомов» // XVI Российская конференция "Распределенные информационно-вычислительные ресурсы. Наука – цифровой экономике" (DICR-2017), 4 - 7 декабря 2017 г., Новосибирск. - Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017. - Art.nr 105.
- [889] Ильина, М. А., Чеблаков П.Б. Разработка системы для хранения конфигурационных данных канала К-500 на основе семантической модели // Современные проблемы физики и технологий: VI Международная молодежная научная школа-конференция, посвященная 75-летию НИЯУ МИФИ и 95-летию академика Н.Г. Басова, 17 - 21 апреля 2017 г., Москва: тезисы докладов. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2017. - Ч. 1. - С. 105-106. - Библиогр.: 3 назв.
- [890] Рождественская, Л.Н., Брызгин А.А. Перспективы электронной стерилизации пищевой

продукции в России // Актуальные проблемы химии, биотехнологии и сферы услуг: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 26–28 апреля 2017 г. - Иркутск: Изд-во ИРННТУ, 2017. - С. 145-148. - Библиогр.: 10 назв.

[891] Поляков И.А., Самойленко В.В., Голковский М.Г., Матц О.Э. Особенности формирования титан-ниобиевых слоев на поверхности титановых сплавов с использованием высоковольтного электронного пучка, выведенного в защитную аргоновую атмосферу // Современные технологии и материалы новых поколений. Международная конференция с элементами научной школы для молодежи, 9 - 13 октября 2017 г., Томск: сборник трудов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. - С. 220-221. - Библиогр.: 3 назв.

[892] Самойленко В.В., Поляков И.А., Голковский М.Г., Матц О.Э. Термическая обработка титан-тантал-циркониевых поверхностных сплавов, полученных с применением релятивистского электронного пучка, выведенного в воздушную атмосферу // Современные технологии и материалы новых поколений. Международная конференция с элементами научной школы для молодежи, 9 - 13 октября 2017 г., Томск: сборник трудов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. - С. 236-238. - Библиогр.: 3 назв.

[893] Камешков О.Э., Князев Б.А., Павельев В.С., Черкасский В.С., Чопорова Ю.Ю. Исследование аналога эффекта Тальбота с использованием пучка закрученных фотонов терагерцового диапазона на новосибирском лазере на свободных электронах // X Международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика-2017», 16 - 20 октября 2017 г., Санкт-Петербург: сборник трудов. - СПб: Университет ИТМО, 2017. - С. 8-10. - Библиогр.: 9 назв.

[894] Володкин Б.О., Князев Б.А., Осинцева Н.Д., Павельев В.С., Чопорова Ю.Ю. Исследование распространения терагерцовых бесселевых пучков с орбитальным угловым моментом // X Международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика-2017», 16 - 20 октября 2017 г., Санкт-Петербург: сборник трудов. - СПб: Университет ИТМО, 2017. - С. 11-12. - Библиогр.: 4 назв.

[895] Володкин Б.О., Князев Б.А., Осинцева Н.Д., Павельев В.С., Чопорова Ю.Ю. Применение кремниевых дифракционных элементов для преобразования и фокусировки пучков терагерцового излучения // X Международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика-2017», 16-20 октября 2017 г., Санкт-Петербург: сборник трудов. - СПб: Университет ИТМО, 2017. - С. 13-14.

[896] Герасимов В.В., Никитин А.К., Хасанов И.Ш., Та Т.Ч. Применение термостимулированных

поверхностных плазмон-поляритонов в инфракрасной пирометрии // X Международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика-2017», 16 - 20 октября 2017 г., Санкт-Петербург: сборник трудов. - СПб: Университет ИТМО, 2017. - С. 126. - Библиогр.: 3 назв.

[897] Булгакова В.В., Герасимов В.В., Лемзяков А.Г., Гольденберг Б.Г., Малкин А.М. Исследование распространения терагерцовых поверхностных плазмонов по одномерным субволновым решеткам диэлектриком // X Международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика-2017», 16 - 20 октября 2017 г., Санкт-Петербург: сборник трудов. - СПб: Университет ИТМО, 2017. - С. 533. - Библиогр.: 2 назв.

[898] Гусев В.А., Азаров И.А., Князев Б.А., Чопорова Ю.Ю., Швец В.А. Исследование оптических свойств ДНК методом эллипсометрии в терагерцовом диапазоне // X Международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика-2017», 16 - 20 октября 2017 г., Санкт-Петербург: сборник трудов. - СПб: Университет ИТМО, 2017. - С. 572-573. - Библиогр.: 3 назв.

[899] Безуглов В.В., Брызгин А.А., Власов А.Ю., Воронин Л.А., Коробейников М.В., Нехаев В.Е., Максимов С.А., Радченко В.М., Штарклев Е.А., Сидоров А.В., Ткаченко В.О., Факторович Б.Л. Применения промышленных ускорителей электронов типа ИЛУ // Труды XXVII Международной конференции "Радиационная физика твердого тела", Севастополь, 10 - 15 июля 2017 г. - Москва: ФГБНУ "НИИ ПМТ", 2017. - С. 21-31. - Библиогр.: 13 назв.

[900] Брызгин А.А., Коробейников М.В., Пупков Ю.А., Михайленко М.А., Вихров И.А., Здвижков А.Т. Влияние больших доз ионизирующего излучения на механические свойства композитных материалов // Труды XXVII Международной конференции "Радиационная физика твердого тела", Севастополь, 10 - 15 июля 2017 г. - Москва: ФГБНУ "НИИ ПМТ", 2017. - С. 32-40. - Библиогр.: 40 назв.

[901] Безуглов В.В., Брызгин А.А., Власов А.Ю., Воронин Л.А., Коробейников М.В., Нехаев В.Е., Максимов С.А., Радченко В.М., Штарклев Е.А., Сидоров А.В., Ткаченко В.О., Факторович Б.Л. Мощные высокочастотные промышленные ускорители электронов типа ИЛУ // Труды XXVII Международной конференции "Радиационная физика твердого тела", Севастополь, 10 - 15 июля 2017 г. - Москва: ФГБНУ "НИИ ПМТ", 2017. - С. 401-411. - Библиогр.: 10 назв.

[902] Брызгин А.А., Коробейников М.В., Кондратьев С.А., Ростовцев В.И. Возможности радиационно-термических процессов в переработке минерального сырья // Труды XXVII Международной конференции "Радиационная физика твердого тела", Севастополь, 10 - 15 июля 2017 г. - Москва: ФГБНУ "НИИ ПМТ", 2017. - С. 491-498. - Библиогр.: 8 назв.

[903] Bryazgin A., Bezuglov V., Vlasov A., Voronin L., Korobeynikov M., Lukin A., Maximov S., Nekhaev V., Nikonov F., Panfilov A., Radchenko V., Sidorov A., Tkachenko V., Faktorovich B., Shtarklev E. ILU Industrial Electron Accelerators // International Conference on Applications of Radiation Science and Technology: ICARST 2017, 24 - 28 April 2017, Vienna, Austria: Programme & Book of Abstracts. - Vienna: IAEA, 2017. - P. 135.

[904] Kuksanov N., Salimov R., Fadeev S., Nemytov P. DC ELV Accelerators: Development and Application // International Conference on Applications of Radiation Science and Technology: ICARST 2017, 24 - 28 April 2017, Vienna, Austria: Programme & Book of Abstracts. - Vienna: IAEA, 2017. - P. 150.

[905] Bulgakova V.V., Gerasimov V.V., Lemzyakov A.G., Goldenberg B.G. Study of terahertz spoof surface plasmons on subwavelength gratings with dielectric substance in grooves // III Международная конференция и молодежная школа «Информационные технологии и нанотехнологии»: ИТНТ-2017: к 75-летию Самарского университета, 25 - 27 апреля 2017 г., Самара: сборник трудов. - Самара: Новая Техника, 2017. - С. 46-51. - Библиогр.: 12 назв.

[906] Осинцева Н.Д., Володкин Б.О., Князев Б.А., Павельев В.С., Чопорова Ю.Ю. Особенности вращающихся бесселевых пучков, сформированных с помощью бинарных аксиконов // III Международная конференция и молодежная школа «Информационные технологии и нанотехнологии»: ИТНТ-2017: к 75-летию Самарского университета, 25 - 27 апреля 2017 г., Самара: сборник трудов. - Самара: Новая Техника, 2017. - С. 294-300. - Библиогр.: 8 назв.

[907] Рагозин А.Л., Зедгенизов Д.А., Купер К.Э., Шацкий В.С. Минералогия алмазов из россыпей северо-востока Сибирской платформы // Геология и минерагения Северной Евразии: материалы совещания, приуроченного к 60-летию Института геологии и геофизики СО АН СССР, 3 - 5 октября 2017 г., Новосибирск, Россия. - Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2017. - С. 199-200. - Библиогр.: 3 назв.

[908] Рагозин, А. Л., Зедгенизов Д.А., Купер К.Э. Сравнительная характеристика мозаично-блочных алмазов из россыпей Северо-Востока Сибирской платформы и кимберлитовой трубки Зарница // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, 5 - 7 апреля 2017 г., Якутск. - Якутск: Издательский дом СВФУ, 2017. - Т. 1. - С. 414-418. - Библиогр.: 11 назв.

[909] Baranov G., Vobly P., Levichev E., Piminov P., Zolotarev K., Zuev V., Havin N. Design and magnetic measurements of a hybrid wiggler for SR research program at VEPP-4 // MT25: 25th International Conference on Magnet Technology, 27 August - 1

September 2017, RAI Congress Center, Amsterdam, The Netherlands: Report of Abstracts. - Amsterdam, 2017. - P. 162.

[910] Okunev I., Batrakov A., Molokoedov A., Pavlenko A., Karpov G. A set of equipment for measuring and investigating the magnetic field at the reference magnet of the NICA booster // MT25: 25th International Conference on Magnet Technology, 27 August - 1 September 2017, RAI Congress Center, Amsterdam, The Netherlands: Report of Abstracts. - Amsterdam, 2017. - P. 46.

[911] Bragin, A., Mezentsev N., Kopylov S. Development of low resistance splicing between Nb₃Sn and NbTi wires to make superconducting wigglers on the base of Nb₃Sn superconductor // MT25: 25th International Conference on Magnet Technology, 27 August - 1 September 2017, RAI Congress Center, Amsterdam, The Netherlands: Report of Abstracts. - Amsterdam, 2017. - P. 207.

[912] Morozov I., Okunev I., Krause B., Petrov A. Fast dipole magnet development // MT25: 25th International Conference on Magnet Technology, 27 August - 1 September 2017, RAI Congress Center, Amsterdam, The Netherlands: Report of Abstracts. - Amsterdam, 2017. - P. 258.

[913] Karpov S., Bragin A., Ruban A., Popov Y. Indirectly cooled superconducting power supply for the CMD-3 thin solenoid // MT25: 25th International Conference on Magnet Technology, 27 August - 1 September 2017, RAI Congress Center, Amsterdam, The Netherlands: Report of Abstracts. - Amsterdam, 2017. - P. 290-291.

[914] Вазина А.А., Гоганов Д.А., Корнеев В.Н., Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н., Шелестов В.М., Шлектарев В.А. Использование синхротронного излучения для скоростной дифрактометрии живых тканей на основе метода $\Theta = \text{const}$ // Совещание пользователей Курчатовского комплекса синхротронно-нейтронных исследований, 20 - 23 ноября 2017 г., Москва: сборник тезисов докладов. - Москва: НИЦ "Курчатовский институт", 2017. - С. 93. - Библиогр.: 1 назв.

[915] Вазина А.А., Васильченко В.А., Забелин А.В., Кваша М.С., Корнеев В.Н., Кулипанов Г.Н., Ланина Н.Ф., Патон Б.Е., Подпрятков С.Е., Подпрятков С.С. Синергетическое воздействие ВЧ-сварки на молекулярную и наноструктурную упорядоченность биологических тканей // Совещание пользователей Курчатовского комплекса синхротронно-нейтронных исследований, 20 - 23 ноября 2017 г., Москва: сборник тезисов докладов. - Москва: НИЦ "Курчатовский институт", 2017. - С. 29. - Библиогр.: 1 назв.

[916] Судников А.Н. В ИЯФ готовят «конфетку» СМОЛА // Наука из первых рук. - 2017. - № 5/6 (76). - С. 56-63.

- [917] Бурдаков А.В. О настоящем и будущем термоядерной энергетики // Наука из первых рук. - 2017. - № 5/6 (76). - С. 64-73.
- [918] Ivanenko S.V., Puryga E.A., Khilchenko A.D., Kvashnin A.N., Zubarev P.V., Moiseev D.V., Solokha V.V., Chernakov A.P. DAQ system for profile recording of ns Thomson scattering pulses // 2016 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room-Temperature Semiconductor Detector Workshop (NSS/MIC/RTSD), Oct. 29 October - 6 November 2016, Strasbourg, France. - Danvers: IEEE, 2017. - Vol. 2017. - Art.nr 8069680. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.1109/NSSMIC.2016.8069680.
- [919] Puryga E.A., Ivanenko S.V., Kvashnin A.N., Khilchenko A.D., Zubarev P.V., Moiseev D.V. High-speed recorder based on SCA technology for Thomson scattering diagnostic on ITER // 2016 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room-Temperature Semiconductor Detector Workshop (NSS/MIC/RTSD), Oct. 29 October - 6 November 2016, Strasbourg, France. - Danvers: IEEE, 2017. - Vol. 2017. - Art.nr 8069664. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1109/NSSMIC.2016.8069664.
- [920] Anisenkov, A.V. Computing resource Information catalog: The ATLAS Grid Information system evolution for other communities // CEUR Workshop Proceedings. - 2017. - Vol. 2023: 26th International Symposium on Nuclear Electronics and Computing (NEC 2017), Budva, Montenegro, 25-29 September 2017. - P. 1-5. - Bibliogr.: 10 ref.
- [921] Zhukavin R.K., Kovalevskii K.A., Sergeev S.M., Choporova Y.Y., Gerasimov V.V., Tsyplenkov V.V., Knyazev B.A., Abrosimov N.V., Pavlov S.G., Shastin V.N., Schneider H., Desmann N., Shevchenko O.A., Vinokurov N.A., Kulipanov G.N., Hubers H.-W. Low-temperature intracenter relaxation times of shallow donors in germanium // JETP Letters. - 2017. - Vol. 106, № 9. - P. 571-575. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1134/S0021364017210147.
- [922] Aaboud M., ATLAS Collab. Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for squarks and gluinos in events with an isolated lepton, jets, and missing transverse momentum at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2017. - Vol. 96, № 11. - Art.nr 112010. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.112010.
- [923] Boussarie R., Grabovsky A.V., Ivanov D.Yu., Szymanowski L., Wallon S. NLO exclusive diffractive processes with saturation // Proceedings of Science. - 2017. - Vol. 2017: 25th International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects, DIS 2017, University of Birmingham, Birmingham, UK, 3 - 7 April 2017. - Art.nr PoS(DIS2017)062. - Bibliogr.: 15 ref.
- [924] Fadin, V.S. Violation of a simple factorized form of QCD amplitudes and Regge cuts // Proceedings of Science. - 2017. - Vol. 2017: 25th International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects, DIS 2017, University of Birmingham, Birmingham, UK, 3 - 7 April 2017. - Art.nr PoS (DIS2017)042. - Bibliogr.: 14 ref. [https://pos.sissa.it/297/042/pdf].
- [925] Druzhinin V.P. Overview of the $(g-2)_\mu$ status and related e^+e^- measurements in Novosibirsk and by ISR // Proceedings of Science. - 2017. - Vol. 2017: 15th International Conference on Flavor Physics and CP Violation, FPCP 2017, Prague, Czech Republic, 5 - 9 June 2017. - Art.nr PoS(FPCP2017)029.
- [926] Ракшун Я.В., Дарьин Ф.А. Сороколетов, Д.С. Способ поиска, локализации и детального исследования микровключений палладия в протяженных образцах руд из Бушвельдского комплекса // XVIII Всероссийская школа-семинар по проблемам физики конденсированного состояния вещества (СПФКС-18), Екатеринбург, 16 - 23 ноября 2017 г. - Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2017. - С. 144. - Библиогр.: 4 назв.
- [927] Aaboud M., ATLAS Collab. Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Evidence for the $H \rightarrow b\bar{b}$ decay with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 12. - Art.nr 24. - Bibliogr.: 111 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2017)024.
- [928] Sirunyan A.M., CMS Collab. Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Measurements of properties of the Higgs boson decaying into the four-lepton final state in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 11. - Art.nr 47. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2017)047.
- [929] Sirunyan A.M., CMS Collab. Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Measurements of jet charge with dijet events in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 131. - Bibliogr.: 63 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)131.
- [930] Aaij R., LHCb Collab. Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Poluektov A., Shekhtman L., Vorobyev V. Study of prompt D^0 meson production in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 90. - Bibliogr.: 78 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)090.

- [931] Khachatryan V., CMS Collab. Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for light bosons in decays of the 125 GeV Higgs boson in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 76. - Bibliogr.: 99 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)076.
- [932] Sirunyan A.M., CMS Collab. Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for new physics in the monophoton final state in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 10. - Art.nr 73. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2017)073.
- [933] Khachatryan V., CMS Collab. Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for electroweak production of charginos in final states with two τ leptons in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // *Journal of High Energy Physics*. - 2017. - Vol. 2017, № 4. - Art.nr 18. - Bibliogr.: 70 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2017)018.
- [934] Aaboud M., ATLAS Collab. Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Search for dark matter in association with a Higgs boson decaying to two photons at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // *Physical Review D*. - 2017. - Vol. 96, № 11. - Art.nr 112004. - Bibliogr.: 74 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.96.112004.
- [935] Sirunyan A.M., CMS Collab. Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for standard model production of four top quarks in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 772. - P. 336-358. - Bibliogr.: 54 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.06.064.
- [936] Sirunyan A.M., CMS Collab. Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Measurements of the charm jet cross section and nuclear modification factor in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // *Physics Letters B*. - 2017. - Vol. 772. - P. 306-329. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2017.06.053.
- [937] Sirunyan A.M., CMS Collab. Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Measurement of the B^{\pm} Meson Nuclear Modification Factor in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 15. - Art.nr 152301. - Bibliogr.: 54 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.152301.
- [938] Sirunyan A.M., CMS Collab. Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for Supersymmetry in pp Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV in the Single-Lepton Final State Using the Sum of Masses of Large-Radius Jets // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 15. - Art.nr 151802. - Bibliogr.: 68 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.151802.
- [939] Lees J.P., BABAR Collab. Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu. Search for Invisible Decays of a Dark Photon Produced in e^+e^- Collisions at BaBar // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 13. - Art.nr 131804. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.131804.
- [940] Sirunyan A.M., CMS Collab. Blinov V., Skovpen Y., Shtol D. Search for Low Mass Vector Resonances Decaying to Quark-Antiquark Pairs in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // *Physical Review Letters*. - 2017. - Vol. 119, № 11. - Art.nr 111802. - Bibliogr.: 81 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.119.111802.
- [941] Barnyakov A.Y., Barnyakov M.Y., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Danilyuk A.F., Katcin A.A., Kirilenko P.S., Kononov S.A., Korda D.V., Kravchenko E.A., Kudryavtsev V.N., Kuyanov I.A., Onuchin A.P., Ovtin I.V., Podgornov N.A., Predein A.Y., Priskein V.G., Protsenko R.S., Shekhtman L.I. Investigation into Cherenkov light scattering and refraction on aerogel surface // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A*. - 2017. - Vol. 876. - P. 249-251. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2017.03.051.
- [942] Contalbrigo M., Balossino I., Barion L., Barnyakov A.Y., Battaglia G., Danilyuk A.F., Katcin A.A., Kravchenko E.A., Mirazita M., Movsisyan A., Orecchini D., Pappalardo L.L., Squerzanti S., Tomassini S., Turisini M. Aerogel mass production for the CLAS12 RICH: Novel characterization methods and optical performance // *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Sec. A*. - 2017. - Vol. 876. - P. 168-172. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2017.02.068.
- [943] Li Y., Xia G., Lotov K.V., Sosedkin A.P., Hanahoe K., Mete-Apsimon O. Multi-proton bunch driven hollow plasma wakefield acceleration in the nonlinear regime // *Physics of Plasmas*. - 2017. - Vol. 24, № 10. - Art.nr 103114. - Bibliogr.: 69 ref. - DOI 10.1063/1.4995354.
- [944] Moschuering N., Ruhl H., Spitsyn R.I., Lotov K.V. Generation of controllable plasma wakefield noise in particle-in-cell simulations // *Physics of Plasmas*. - 2017. - Vol. 24, № 10. - Art.nr 103129. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1063/1.4986399.
- [945] Aaboud M., Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A. Femtoscopy with identified charged pions in proton-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with ATLAS // *Physical Review C*. - 2017. - Vol. 96, № 6. - Art.nr 064908. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.96.064908.
- [946] Kuzmichev L., TAIGA Group Kravchenko E., Sokolov A. Tunka Advanced Instrument for cosmic rays and Gamma Astronomy (TAIGA): Status, results and

perspectives // EPJ Web of Conferences. - 2017. - Vol. 145: 19th International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions, ISVHECRI 2016, P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (LPI RAS) Moscow, Russian Federation, 22-27 August 2016. - Art.nr 01001. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201614501001.

[947] Belchenko Yu., Ivanov A., Sanin A., Sotnikov O. Extracted beam and electrode currents in the inductively driven surface-plasma negative hydrogen ion source // 5th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS'16), St. Anne's College, Oxford, UK, 12 - 16 September, 2016. - Melville: AIP, 2017. - Art.nr 030004. - (AIP Conference Proceedings; Vol.1869). - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1063/1.4995725.

[948] Popov S.S., Atluhanov M.G., Burdakov A.V., Ivanov A.A., Kolmogorov A.V., Ushkova M.Yu. High effective neutralizer for negative hydrogen and deuterium ion beams on base of nonresonance adiabatic trap of photons // 5th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS'16), St. Anne's College, Oxford, UK, 12 - 16 September, 2016. - Melville: AIP, 2017. - Art.nr 020007. - (AIP Conference Proceedings; Vol. 1869). - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1063/1.4995713.

[949] Dudnikova G.I., Efimova A.A. Berendeev, E.A. PIC-simulation of the electron beam interaction with modulated density plasma // 9th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences - AMiTaNS'17, Flamingo Grand HotelAlbena, Varna, Bulgaria, 21 - 26 June 2017. - Melville: AIP, 2017. - Art.nr 120002. - (AIP Conference Proceedings; Vol. 1895). - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1063/1.5007419.

[950] Shchegolev P.B., Minaev V.B., Telnova A.Yu., Bakharev N.N., Goncharov P.R., Gusev V.K., Kurskiev G.S., Miroshnikov I.V., Patrov M.I., Petrov Yu.V., Sakharov N.V., Shikhovtsev I.V., Tolstyakov S.Yu. Globus-M2 NBI upgrade and updated NBCD results obtained on spherical tokamak Globus-M // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 907, № 1: 44th Zvenigorod International Conference on Plasma Physics and Controlled Fusion, ICPAF 2017, Zvenigorod, Moscow, Russian Federation, 13-17 February 2017. - Art.nr 012013. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/907/1/012013.

[951] Shwartz, B.A. Scintillation detectors in experiments on high energy physics // Springer Proceedings in Physics. - 2017. - Vol. 200: International Conference on Engineering of Scintillation Materials and Radiation Technologies: ISMART 2016, 26 - 30 January

2016, Minsk, Belarus. - P. 211-230. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1007/978-3-319-68465-9_13.

[952] Naumova E.V., Prinz V.Ya., Golod S.V., Seleznev V.A., Kubarev V.V. Terahertz systems comprising rolled-up metal microhelices and GaAs slabs // 11th International Congress on Engineered Material Platforms for Novel Wave Phenomena, Metamaterials 2017, Marseille, France, 28 August - 2 September 2017. - Danvers: IEEE, 2017. - P. 229-231. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1109/MetaMaterials.2017.8107900.

[953] Arzhannikov A.V., Fedorinin V.N. Kuznetsov, S.A. Ultra-Thin metasurface absorbers for spectropolarimetric radiation detectors: In-depth electromagnetic analysis and practical design for subterahertz band // 11th International Congress on Engineered Material Platforms for Novel Wave Phenomena, Metamaterials 2017, Marseille, France, 28 August - 2 September 2017. - Danvers: IEEE, 2017. - P. 193-195. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1109/MetaMaterials.2017.8107887.

[954] Аржанников А.В., Иванов А.И., Кузнецов С.А., Макаров М.А. Частотно-селективная регистрация потока излучения в интервале 0.4-1.0 ТГц при его генерации в плазме сильноточным электронным пучком // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) "ФОТОНИКА 2017", 11 - 15 сентября 2017 г., Новосибирск: тезисы докладов. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 48. - Библиогр.: 6 назв.

[955] Милёхин А.Г., Свешникова Л.Л., Дуда Т.А., Родякина Е.Е., Кузнецов С.А., Милёхин И.А., Латышев А.В., Dzhanan V.M., Zahn D.R.T. Эффекты плазмонного усиления комбинационного рассеяния света и ИК поглощения полупроводниковыми нанокристаллами // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) "ФОТОНИКА 2017", 11 - 15 сентября 2017 г., Новосибирск: тезисы докладов. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 67.

[956] Азаров И.А., Чопорова Ю.Ю., Князев Б.А., Швец В.А. Устройства управления поляризацией электромагнитного излучения в терагерцовом диапазоне частот // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) "ФОТОНИКА 2017", 11 - 15 сентября 2017 г., Новосибирск: тезисы докладов. - Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. - С. 138. - Библиогр.: 3 назв.

[957] Di Girolamo A., Pradillo M.A. Anisenkov, A. AGIS: Integration of new technologies used in ATLAS Distributed Computing // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 898, № 9: 22nd International Conference on Computing in High Energy and Nuclear

Physics, CHEP 2016, San Francisco, US, 10 - 14 October 2016. - Art.nr 092023. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/898/9/092023.

[958] Senchenko A.I., Berkaev D.E., Lysenko A.P., Rogovsky Yu.A., Shatunov P.Yu. The VEPP-2000 Collider Control System: Operational Experience // CERN Proceedings, 2017, Vol. 1, 2017. - P. 223-226.

[959] Shatilov D. FCC-ee Parameter Optimization // ICFA Beam Dyn. Newslett, 2017. - Vol. 72, P. 30-41.

[960] Брызгунов М.И., Бублей А.В., Денисов А.П. и др. Исследование системы электронного охлаждения бустера NICA // 12-й Международный семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц, посвященный памяти В.П. Саранцева, 3 - 8 сентября 2017, г. Алушта.

[961] В.В. Пархомчук, М.И. Брызгунов, А.В. Бублей и др. Конструкция СЭО и возможности электронного охлаждения коллайдера НИКА 2.5 МВ // 12-й Международный семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц, посвященный памяти В.П. Саранцева, 3 - 8 сентября 2017, Алушта.

[962] Зиновьев Л.В., Смирнов А.В., Сергеев А.С., Семёнов С.В., Колесников С.Ю., Куликов Е.А., Туманова Ю.А., Алфеев А.В., Брызгунов М.И., Бублей А.В., Рева В.Б. Начало запуска системы электронного охлаждения бустера NICA // 12-й Международный семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц, посвященный памяти В.П.Саранцева, 3 - 8 сентября 2017, г. Алушта.

[963] V.B. Reva, M.I. Bryzgunov, A.V. Bublely et al. High voltage cooler NICA: Status and ideas // International Workshop on Beam Cooling and Related Topics, 18 - 22 September 2017, Bonn, Germany.

[964] V.B. Reva, D.N. Skorobogatov, A. Denisov et al. Project of High-Voltage System with Fast Changing Potential for DR Experiment // International Workshop on Beam Cooling and Related Topics, 18-22 September 2017, Bonn, Germany.

[965] A. Bublely, M. Bryzgunov, V. Chekavinskiy, et al. Low energy Electron Cooler for the NICA Booster // International Workshop on Beam Cooling and Related Topics, 18-22 September 2017, Bonn, Germany.

[966] A. Halama, V. Kamerdzhev, M. Bryzgunov, V. Parkhomchuk, D. Skorobogatov, D. Senkov, V. Reva, I. Meshkov, T. Katayama, B. Lorentz, R. Stassen, R. Gebel, D. Prasuhn. Electron cooling at COSY - status and perspectives // International Workshop on Beam Cooling and Related Topics, 18 - 22 September 2017, Bonn, Germany.

[967] I. Alexander, K. Aulenbacher, J. Dietrich, W. Klag, V. Parkhomchuk, M. Bryzgunov, V. Reva. Status Report about the HV Power Supply and its Test-bench for the HESR Electron Cooler // International Workshop on Beam Cooling and Related Topics, 18-22 September 2017, Bonn, Germany.

[968] S.A. Rastigeev, A.R. Frolov, A.D. Goncharov, V.F. Klyuev, E.S. Konstantinov, V.V. Parkhomchuk, A.V. Petrozhitskii. Radiocarbon analysis of samples on 1 MV AMS spectrometer at ion charge state 3+ // International Scientific Workshop "Problems of Colliders and Charged Particle Accelerators", September 2017, Alushta, Russia.

[969] Бузулуцков Алексей Фёдорович. Газовый электролюминесцентный детектор ионов и способ идентификации ионов // Патент на изобретение РФ № 2617124. Приоритет изобретения 24.06.2015. Зарегистрирован 21.04.2017. Опубликовано: 21.04.2017 Бюл. № 12.

[970] А.В. Соколов, устный пленарный доклад, "Two-phase detectors in Ar for DM search and low energy neutrino detection" // Международная конференция "The Mount Elbrus Conference: from Deep Underground up to the Sky", Пятигорск, Россия, 11 - 15 сентября 2017 г.

[971] Эпштейн Л.Б., Ахметшин Р.Р., Григорьев Д.Н., Казанин В.Ф., Мельник А.С., Шелковый Д.В., Юдин Ю.В. Анализ данных электромагнитного калориметра эксперимента СОМЕТ в режиме реального времени // Сибирский физический журнал. - 2017. - Т. 12, № 4. - С. 5-13.

[972] Мальцева М.В., Павлщв В.М., Самойлов С.Л., Андрианов А.В., Пивоваров И.Л. Измерения резонаторов системы умножения мощности типа SLED // Сибирский физический журнал. - 2017. - Т. 12, № 4. - С. 20-29.

[973] Беликов О.В., Козак В.Р., Медведко А.С. Аппаратные средства увеличения надежности систем питания корректирующих электромагнитов // Сибирский физический журнал. - 2017. - Т. 12, № 4. - С. 30-33.

[974] Achasov M.N., Beloborodov K.I., Kupich A.S. Separation of $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ and $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ events using SND detector calorimeter // Journal of Instrumentation. - 2017, 12(1). - [T01002]. DOI: 10.1088/1748-0221/12/01/T01002.

[975] З.К. Силагадзе. Механика и теория относительности: задачи семинарских занятий с решениями // Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017.

[976] В.С. Фадин. Факторизация амплитуд КХД при высоких энергиях // 51-я Зимняя Школа Петербургского Института ядерной физики НИЦ КИ, 29 февраля - 5 марта 2017, Райвола, Рошино, Ленинградская обл., Россия.

[977] V.S. Fadin. Regge cut contributions to QCD amplitudes // International Workshop "Iterated integrals and the Regge limit", 10 - 14 April 2017, Higgs Centre for Theoretical Physics, the University of Edinburgh, Scotland.

[978] Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д., Лисицына Л.А., Даулетбекова А.К., Акилбеков А.Т., Голковский М.Г., Мархабаева А.А. Синтез

- электронными пучковыми технологиями керамик MGF2 и MGF2(W) // *Материалы 12-ой Международной конференции. В сборнике: Взаимодействие излучений с твердым телом (ВИТТ - 2017. - Минск, Беларусь, 19 - 22 сент. 2017 г. / редкол.: В.В. Углов (отв.ред.) [и др.]. - Минск: Изд. центр БГУ, 2017. - С. 343-344.*
- [979] V.A. Bataev, M.G. Golkovski, V.V. Samoilenko, I.A. Polyakov, N.K. Kuksanov, E.A. Drobyaz. Rolling and bending capability analysis of titanium sheets with Ti-Ta-Nb anti-corrosion alloy coating applied by powder electron beam weld deposition in the air atmosphere // *Proceeding of Second International Conference on Applied Surface Science, 12 - 15 June 2017, Dalian, China.*
- [980] Поляков И.А., Голковский М.Г., Руктуев А.А., Куksанов Н.К., Батаев В.А. Самойленко В.В., Дробяз Е.А. Способ изготовления корпуса аппарата для химических производств, стойкого к воздействию концентрированных кислот, из титановых листов с внутренним антикоррозионным покрытием // Патент РФ RU2621745, дата регистрации 20 августа 2017, заявка №2015135398 от 20.08.2015.
- [981] Юданова Е.С., Семенова О.И., Абрамкин Д.С., Голяшов В.А., Шмаков А.Н. Исследование структуры и фотоэлектронных свойств полупроводникового перовскита $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. // XIII Российская конференция по физике полупроводников, Екатеринбург, 2 - 6 октября 2017. - Тезисы докладов. - С. 68.
- [982] Седельникова Л.П., Чанкина О.В. Изменчивость коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов вегетативными органами *Neurocallis hybrid* // *Ученые записки ЗабГУ. - 2017. - Т. 12. № 1. - С. 46-52. DOI 10.21209/2500-1701 DOI 10.21209/2500-1701-2016-12-1*
- [983] Головки В.В., Чанкина О.В. Элементный состав пыльцы растений, присутствующей в воздухе Новосибирска // *Сборник материалов XIII Междуна. науч. конгресса «ГЕО-СИБИРЬ-2017»: Дистанционные методы зондирования земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. 2017. - Т. 2. - С. 115-119. 2017.*
- [984] Shevchenko V., Eselevich D., Ancharov A., Tolochko B. In Situ Investigation of Oxidation of Aluminum Alloy Powders with Calcium and Barium by Synchrotron Radiation // *Universal journal and Application. - 2017. - Vol. 11(4). - P. 115-120. DOI: 10.13189/ujra.2017.110404.*
- [985] Еселевич Д.А., Попов Н.А., Винокуров З.С. In situ окисления модифицированного порошка АСД-4 ванадиевым гидрогелем V_2O_5 // *Сборник научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», Томск, 25 - 28 апреля 2017: в 7 т. - Томск: Изд-во ТПУ, 2017. - Т. 2: Химия. - С. 301-303. <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/44546>.*
- [986] A.I. Ancharov. The use of hard synchrotron radiation for diffraction studies of composite and functional materials // *Russian Physics Journal. - 2017. - Vol. 60, No. 3. - P. 543-549.*
- [987] А.И. Анчаров, С.В. Восмериков, Т.Ф. Григорьева, М.Ю. Косачев, Ю.И. Семенов. Исследование возможности получения высокотемпературных материалов методами механохимической и электронно-лучевой обработки. // 20-й Международный симпозиум «Упорядочение в минералах и сплавах» ОМА-20, Ростов-на-Дону - пос. Южный, 10 - 15 сентября 2017: труды симпозиума. - Ростов-на-Дону, Фонд науки и образования, 2017. - Выпуск 20. - Том 1. - С. 238-241; Т. 1. - С. 12-14.
- [988] Анчаров А.И., Григорьева Т.Ф., Косачев М.Ю., Семенов Ю.И., Старостенко А.А., Толочко Б.П. О возможности получения изделий из расплавленных тугоплавких карбидов гафния и тантала методом электронно-лучевой обработки // 20-й Международный симпозиум «Упорядочение в минералах и сплавах» ОМА-20, Ростов-на-Дону - пос. Южный, 10 - 15 сентября 2017: труды симпозиума. - Ростов-на-Дону, Фонд науки и образования, 2017. - Выпуск 20. Т. 1. - С. 27-30.
- [989] Толмачев Т.П., Пилюгин В.П., Анчаров А.И., Антонова О.В., Пацелов А.М., Чернышев Е.Г. Механосплавление Au-Co, Cu-Ag, Cu-Zn кручением под высоким давлением: структура и свойства // LVIII Международная конференция «Актуальные проблемы прочности», Пермь, 16 - 19 мая 2017. Тезисы докладов - Пермь: ИМСС УрО РАН, 2017. - С. 186.
- [990] Толмачев Т.П., Пилюгин В.П., Пацелов А.М., Антонова О.В., Анчаров А.И., Чернышев Е.Г., Власова А.М., Ярославцев А.А. Структура и механические свойства сплавов систем ограниченной растворимости Cu-Ag и Au-Co, полученных криогенной мегапластической деформацией // Тезисы докладов XX Зимней школы по механике сплошных сред, Пермь, 13 - 16 февраля 2017, Екатеринбург: РИО УрО РАН. - 2017. - С. 340.
- [991] Пилюгин В.П., Анчаров А.И., Соловьева Ю.В., Толмачев Т.П., Гижевский Б.А. Механизм восстановления металлов из оксидов и сульфидов при интенсивных бародеформациях // Тезисы докладов Международной конференции «XIII Заббахинские научные чтения» (ЗНЧ-2017), Снежинск, 20 - 24 марта, 2017. - Снежинск: Издательство РФЯЦ-ВНИИТФ. - 2017. - С. 212-213.
- [992] V. Variale, B. Skarbo. Neutron imager with Micro Channel Plates (MCP) in electrostatic mirror configuration: experimental test with radiation source // *Proceedings of the 2017 International Conference on Applications of Nuclear Techniques, Crete, Greece, June 11 - 17, 2017.*

Препринты 2017

1. А.А. Брызгин, В.В. Безуглов, Л.А. Воронин, А.Ю. Власов, В.А. Горбунов, М.В. Коробейников, А.Н. Лукин, В.Е. Нехаев, А.Д. Панфилов, В.М. Радченко, А.В. Сидоров, В.О. Ткаченко, Е.А. Штарклев, Б.Л. Факторович. Некоторые особенности схемы высокочастотного питания ускоряющего резонатора импульсного линейного ускорителя электронов ИЛУ-10 // Препринт ИЯФ 2017-1, 19с, Новосибирск, 2017.

2. В.В. Анашин, А.А. Краснов, А.М. Семенов. Обзор вакуумных соединений для получения сверхвысокого вакуума // Препринт ИЯФ 2017-14, 8с, Новосибирск, 2017.

3. V.S. Fadin, L.N. Lipatov. Reggeon cuts in QCD amplitudes with negative signature // Preprint INP 2017-15, 16p, Novosibirsk, 2017.

4. Achasov M.N., Aulchenko V.M., Barnyakov A.Yu., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Berkaev D.E., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kardapoltsev L.V., Kasaev A.S., Kharlamov A.G., Kirpotin A.N., Koop I.A., Korneev L.A., Korol A.A., Kovrizhin D.P., Koshuba S.V., Kupich A.S., Melnikova N.A., Martin K.A., Obrazovsky A.E., Otboev A.V., Pakhtusova E.V., Pugachev K.V., Rogovsky Yu.A., Senchenko A.I., Serednyakov S.I., Silagadze Z.K., Shatunov Yu.M., Shtol D.A., Shwartz D.B., Surin I.K., Usov Yu.V., Vasiljev A.V. Measurement of the $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ cross section in the energy range $\sqrt{s} = 1.3 - 2.0$ GeV // e-Print: arXiv:1711.07143, 2017.

5. Emanov F.A., Koop I.A., Perevedentsev E.A., Rogovsky Yu.A., Shwartz D.B. et al. Correction of Magnetic Optics and Beam Trajectory Using LOCO Based Algorithm with Expanded Experimental Data Sets // FERMILAB-PUB-17-084-AD-APC, e-Print: arXiv:1703.09757.

6. Victor L. Chernyak. Softly broken $N=2$ SQCD: mass spectra in vacua with unbroken $Z_{2N_c-N_f}$ symmetry // arXiv:1711.01169 [hep-th]. - P. 1-80.

7. V.M. Khatsymovsky. Simplicial Palatini action // arXiv:1705.06654[gr-qc]. - P. 1-19, 2017.

8. A.D. Dolgov, S.I. Godunov, A.S. Rudenko. Evolution of thick domain walls in inflationary and $p = wp$ universe // e-Print: arXiv:1711.04704 [gr-qc].

9. Andrey Grozin. Lectures on Soft-Collinear Effective Theory // Proceedings of the Helmholtz International School "Quantum field theory at the limits: from strong fields to heavy quarks" / ed. by A.Ali, D. Blaschke, A. Issadykov and M. A. Ivanov/ DESY-PROC-2016-04, Verlag Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg (2017). - P. 121-149.

10. R.N. Lee, A.I. Onishchenko. ABJM quantum spectral curve and Mellin transform // arXiv:1712.00412.

11. R.N. Lee, A.I. Onishchenko. ABJM quantum spectral curve and Mellin transform // arXiv:1712.00412.

12. Roman N. Lee, Kirill T. Mingulov. Meromorphic solutions of recurrence relations and DRA method for multicomponent master integrals // arXiv:1712.05166.

13. Roman N. Lee, Alexander V. Smirnov. Vladimir A. Smirnov. Solving differential equations for Feynman integrals by expansions near singular points // arXiv:1709.07525, accepted to JHEP.

14. Roman N. Lee, Andrei A. Pomeransky. Normalized Fuchsian form on Riemann sphere and differential equations for multiloop integrals // arXiv:1707.07856.

Авторефераты 2017

1. КАРНАЕВ Сергей Евгеньевич. Системы управления ускорительным комплексом ВЭПП-4 и бустерным синхротроном источника СИ NSLS-II // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: Новосибирск, 2017, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

2. ШКАРУБА Виталий Аркадьевич. Сверхпроводящие многополюсные вигглеры для генерации синхротронного излучения // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: Новосибирск, 2017, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

3. ШИЛЬЦЕВ Владимир Дмитриевич. Электронные линзы для суперколлайдеров // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук: Новосибирск, 2017, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

4. АХМЕТШИН Равель Равилович. Торцевой электромагнитный калориметр на основе кристаллов ВГО для детектора КМД-3 // 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2017, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

5. СКЛЯРОВ Владислав Фатыхович. Исследование эмиссии субмиллиметровых электромагнитных волн из плазмы при коллективной релаксации электронного пучка в многопробочной ловушке ГОЛ-3 // 01.04.08 - физика плазмы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2017, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

6. БУЗЫКАЕВ Алексей Рафаилович. Разработка черенковских счётчиков АШИФ для детектора КЕДР // 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2017, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

7. ГРАМОЛИН Александр Валерьевич. Изучение двухфотонного обмена и анализ радиационных поправок в эксперименте по упругому рассеянию электронов и позитронов на протонах 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2017, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

8. БЕЛОБОРОДОВ Константин Иванович. Изучение процессов $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ и $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ на детекторе СНД // 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2017, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

9. БОБРОВНИКОВ Виктор Сергеевич. Тестовый пучок электронов комплекса ВЭПП-4 // 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2017, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

10. КАМИНСКИЙ Вячеслав Викторович. Комптоновская калибровка системы регистрации рассеянных электронов детектора КЕДР // 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: Новосибирск, 2017, ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

Соглашения о сотрудничестве между ИЯФ и зарубежными лабораториями

Название лаборатории		Область сотрудничества	Год	Координатор(ы)
№	1	2	3	4
1	<i>Daresbury</i> <i>Англия</i>	Генерация и использование СИ.	1977	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>И. Мунро (Daresbury)</i>
2	<i>BESSY</i> <i>Германия</i>	Создание вигглеров для BESSY-2.	1993	<i>А. Скринский,</i> <i>Н. Мезенцев (ИЯФ);</i> <i>Э. Яшке (BESSY)</i>
3	<i>Иссл. центр</i> <i>Россендорф</i> <i>(Германия)</i>	Физические исследования источника нейтронов на базе магнитной ловушки.	1994	<i>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>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, электронные коллайдеры.	1995	<i>Ю. Шатунов,</i> <i>В. Пархомчук (ИЯФ);</i> <i>Х. Эйкхоф (GSI)</i>
6	<i>DESY</i> <i>(Германия)</i>	Физика элементарных частиц, синхротронное излучение, физика и технология ускорителей, электроника и экспериментальное оборудование.	1995	<i>А. Скринский,</i> <i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>А. Вагнер,</i> <i>К. Шерф (DESY)</i>
7	<i>CIEMAT</i> <i>(Испания)</i>	Ускорительные технологии и физика плазмы.	2007	<i>Е. Левичев (ИЯФ);</i> <i>Ж. Рубио (CIEMAT)</i>
8	<i>CELLS</i> <i>(Испания)</i>	Сотрудничество в области использования нового оборудования для источников СИ.	2008	<i>Е. Левичев (ИЯФ),</i> <i>Джоан Бордас</i> <i>и Орпинелл (CELLS)</i>
9	<i>INFN</i> <i>(Италия)</i>	Разработка интенсивного источника радиоактивных ионных пучков для экспериментов по физике ядра.	1984	<i>П. Логачев (ИЯФ);</i> <i>Л. Теккио (INFN)</i>
10	<i>Унив. Милана</i> <i>(Италия)</i>	Теоретические и численные исследования динамического хаоса в классической и квантовой механике.	1991	<i>А. Скринский (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>Унив. Падуи</i> <i>(Италия)</i>	Разработка криогенных детекторов для экспериментов по физике нейтрино.	2008	<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 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	<i>Дж. Банс, 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>Р. Холт (ANL) Г. Кулипанов, А. Скринский (ИЯФ); Шеной (США)</i>
24	<i>Унив. Питтсбурга (США)</i>	Эксперименты на ВЭПП-2М и ϕ -фабрика.	1989	<i>С. Эйдельман, Е. Солодов (ИЯФ); В. Савинов (США)</i>
25	<i>Унив. Дюка (США)</i>	Лазеры на свободных электронах.	1992	<i>Н. Винокуров (ИЯФ); Й. Ву (Duke)</i>
26	<i>BNL, Брукхевен (США)</i>	Сотрудничество по электрон-ионным коллаидерам.	1993	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); И. Бен-Зви (США)</i>
27	<i>FERMILAB (США)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: охлаждение, системы конверсии.	1993	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); О. Финли (FERMILAB)</i>

№	1	2	3	4
28	<i>FERMILAB (США)</i>	Обмен учёными и инженерами для проведения исследований.	1995	<i>А. Скринский (ИЯФ); П. Оддоне (FERMILAB)</i>
29	<i>SLAC, Стэнфорд (США)</i>	Получение субмикронных пучков, получение интенсивных позитронных пучков, разработка элементов В-фабрики, детекторов, ВЧ-генераторов на базе магнитонов.	1994	<i>А. Скринский (ИЯФ); Персис Дрэл (SLAC)</i>
30	<i>Институт физики плазмы АНЧР (Чехия)</i>	Сотрудничество в области исследований по физике плазмы и диагностики плазмы.	2008	<i>А. Иванов (ИЯФ); П. Храска (ЧР)</i>
31	<i>CERN (Швейцария)</i>	1. Научно-исследовательские и конструкторские работы по детекторам для большого адронного коллайдера LHC. 2. Создание элементов комплекса LHC.	1992 1996	<i>А. Бондарь, Ю. Тихонов (ИЯФ); Т. Накада, П. Йенни (CERN) В. Анашин (ИЯФ); Л. Эванс (CERN)</i>
32	<i>Институт Поля Шерера (Швейцария)</i>	Сотрудничество в области физики частиц.	2009	<i>Д. Григорьев (ИЯФ); Д. Месот (Институт Поля Шерера)</i>
33	<i>CERN (Швейцария)</i>	Исследования и развитие технологии микроструктурных детекторов.	2009	<i>Ю. Тихонов (ИЯФ); С. Бертоллуччи (CERN)</i>
34	<i>CERN (Швейцария)</i>	Совместные работы по разработке электрон-позитронных коллайдеров со сверхвысокой светимостью.	2009	<i>Е. Левичев (ИЯФ); С. Маерс (CERN)</i>
35	<i>RIKEN Spring-8 (Япония)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей и синхротронного излучения.	1996	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ); Х. Камицубо (Япония)</i>
36	<i>КЕК (Япония)</i>	Проведение исследований в области физики ускорителей и смежных областях, разработка детекторов элементарных частиц.	1995	<i>А. Скринский (ИЯФ); А. Сузуки (КЕК)</i>
37	<i>Центр плазменных исследований Унив. Цукуба (Япония)</i>	Исследования на открытых ловушках.	2007	<i>А. Иванов (ИЯФ); Т. Имай (Япония)</i>

Научное руководство ИЯФ СО РАН

Члены Российской академии наук

Академики:

Диканский Николай Сергеевич
Кулипанов Геннадий Николаевич
Логачев Павел Владимирович
Пархомчук Василий Васильевич
Скринский Александр Николаевич

Члены-корреспонденты РАН:

Бондарь Александр Евгеньевич
Винокуров Николай Александрович
Тихонов Юрий Анатольевич
Фадин Виктор Сергеевич
Шатунов Юрий Михайлович

Директор:

Логачев Павел Владимирович

Научный руководитель:

Скринский Александр Николаевич

Советник РАН:

Кулипанов Геннадий Николаевич

Учёный секретарь:

Ракшун Яков Валерьевич

Заместители директора по научной работе:

Бондарь Александр Евгеньевич
Бурдаков Александр Владимирович
Иванов Александр Александрович
Левичев Евгений Борисович
Мезенцев Николай Александрович
Тихонов Юрий Анатольевич

Ученый совет

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Академик, председатель | Логачев П.В. |
| 2. Член-корр. РАН, зам. председателя | Бондарь А.Е. |
| 3. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Бурдаков А.В. |
| 4. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Иванов А.А. |
| 5. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Левичев Е.Б. |
| 6. Доктор физ.-мат. наук, зам. председателя | Мезенцев Н.А. |
| 7. Академик, зам. председателя | Скринский А.Н. |
| 8. Член-корр. РАН, доктор физ.-мат. наук, профессор | Тихонов Ю.А. |
| 9. Кандидат физ.-мат. наук, уч. Секретарь | Ракшун Я.В. |
| 10. Кандидат тех. наук, председатель проф. организации | Брызгин А.А. |
| 11. Младший научный сотрудник, председатель СМУ | Сурин И.К. |
| 12. Доктор физ.-мат. наук | Багрянский П.А. |
| 13. Доктор технических наук | Батраков А.М. |
| 14. Кандидат физ.-мат. наук | Беклемишев А.Д. |
| 15. Доктор физ.-мат. наук | Блинов В.Е. |
| 16. Кандидат физ.-мат. наук | Васильев А.В. |
| 17. Член-корр. РАН | Винокуров Н.А. |
| 18. Кандидат физ.-мат. наук | Григорьев Д.Н. |
| 19. Академик РАН | Диканский Н.С. |

20. Доктор физ.-мат. наук
21. Кандидат физ.-мат. наук
22. Кандидат физ.-мат. наук
23. Доктор технических наук
24. Доктор физ.-мат. наук
25. Кандидат физ.-мат. наук
26. Доктор технических наук
27. Академик РАН
28. Кандидат физ.-мат. наук, доцент
29. Доктор физ.-мат. наук, доцент
30. Доктор физ.-мат. наук
31. Доктор физ.-мат. наук, профессор
32. Член-корр. РАН
33. Кандидат физ.-мат. наук
34. Кандидат физ.-мат. наук
35. Доктор физ.-мат. наук, профессор
36. Кандидат физ.-мат. наук
37. Доктор физ.-мат. наук, профессор
38. Член-корр. РАН
39. Кандидат физ.-мат. наук
40. Кандидат физ.-мат. наук
41. Кандидат технических наук
42. Доктор физ.-мат. наук

Дружинин В.П.
Золотарев К.В.
Иванов И.А.
Колмогоров В.В.
Кооп И.А.
Краснов А.А.
Куксанов Н.К.
Кулипанов Г.Н.
Логашенко И.Б.
Лотов К.В.
Мешков О.И.
Мильштейн А.И.
Пархомчук В.В.
Пиминов П.А.
Полосаткин С.В.
Середняков С.И.
Старостенко А.А.
Фадин В.С.
Шатунов Ю.М.
Шварц Д.Б.
Шевченко О.А.
Шиянков С.В.
Эйдельман С.И.

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

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ
2017

Обложка Е.Д. Бендер

Ответственный за выпуск Я.В. Ракшун
Работа поступила 26.03. 2018 г.

Сдано в набор 28.05. 2018 г.

Подписано в печать 29.06. 2018 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 14,0 печ.л., 11.2 уч.-изд.л.

Тираж 200 экз. Бесплатно. Заказ № 6

Обработано на РС и отпечатано
на ротапинтере «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11