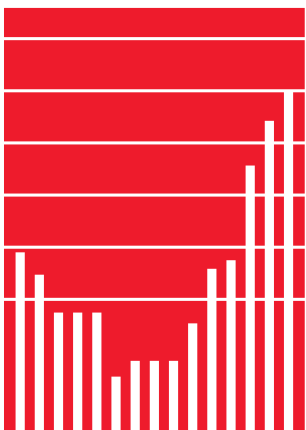
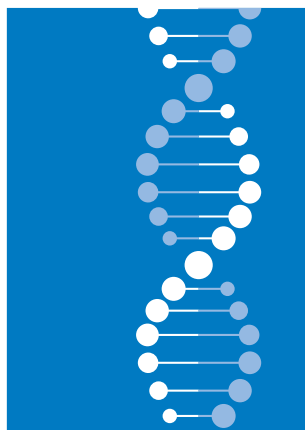
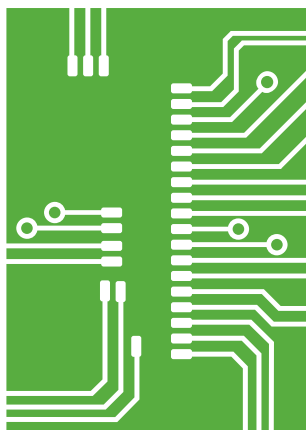
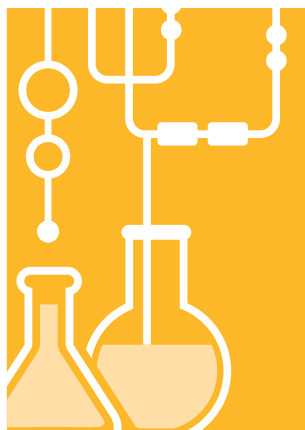


**Материалы секции**

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ  
И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
ФИЗИКИ**



10-13 апреля 2020  
НОВОСИБИРСК



НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

МНСК-2020

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ  
И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Материалы  
58-й Международной научной студенческой конференции

10–13 апреля 2020 г.

Новосибирск  
2020

УДК 53  
ББК 22.3+32  
И 72

Научный руководитель секции —  
д-р физ.-мат. наук, проф. Л. И. Шехтман

Председатель секции — канд. физ.-мат. наук П. Б. Чеблаков

Ответственный секретарь секции — канд. физ.-мат. наук П. П. Кроковный

Экспертный совет секции  
д-р физ.-мат. наук И. Б. Логашенко  
канд. физ.-мат. наук Е. М. Балдин  
канд. тех. наук Е. В. Козырев  
канд. тех. наук Г. А. Фатькин

**И 72** Инструментальные методы и техника экспериментальной  
физики : Материалы 58-й Междунар. науч. студ. конф. 10–13 апреля  
2020 г. / Новосиб. гос. ун-т. — Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2020. — 42 с.

ISBN 978-5-4437-1046-4

**УДК 53**  
**ББК 22.3+32**

ISBN 978-5-4437-1046-4

© СО РАН, 2020  
© Новосибирский государственный  
университет, 2020

NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY  
SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

ISSC-2020

INSTRUMENTATION IN EXPERIMENTAL PHYSICS

Proceedings  
of the 58<sup>th</sup> International Students Scientific Conference

April, 10–13, 2020

Novosibirsk  
2020

УДК 53  
ББК 22.3+32  
И 72

Section Scientific Supervisor — Dr. Phys.-Math., Prof. L. I. Schehtman

Section Head — Cand. Phys.-Math. P. B. Cheblakov

Executive Secretary — Cand. Phys.-Math. P. P. Krovovny

Section scientific committee  
Dr. Phys.-Math. I. B. Logashenko  
Cand. Phys.-Math. E. M. Baldin  
Cand. Tekhn. E. B. Kozyrev  
Cand. Tekhn. G. A. Fatkin

**И 72** Instrumentation in experimental physics : Proceedings of the 58<sup>th</sup> International Students Scientific Conference. April, 10–13, 2020 / Novosibirsk State University. — Novosibirsk : IPC NSU, 2020. — 42 p.

ISBN 978-5-4437-1046-4

**УДК 53**  
**ББК 22.3+32**

ISBN 978-5-4437-1046-4

© SB RAS, 2020  
© Novosibirsk State University, 2020

# РАДИОФИЗИКА И УСКОРИТЕЛИ

УДК 533.922

## Условие срыва самомодуляции протонного пучка в плазме

М. А. Байструков

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

На данный момент идет активное развитие методов кильватерного ускорения. Одним из наиболее перспективных методов является ускорение с использованием протонного драйвера. В CERN реализуется программа AWAKE по реализации данного метода. Сейчас эксперименты проводятся в одной секции длиной 10 метров и изучается сама волна и поведение драйвера в ней. Конструкция установки обладает рядом особенностей. Ионизация газа рубидия производится лазерным импульсом, который предварительно сводится с протонным пучком так, чтобы лазерный импульс находился в центре протонного пучка по его длине. Это обеспечивает требуемый уровень однородности плазмы и контролируруемую самомодуляцию задней части протонного пучка за счет того, что резкий фронт драйвера генерирует высокое поле начальной затравки.

В дальнейшем планируется построить еще одну секцию для изучения ускорения электронов в кильватерной волне, создаваемой протонным драйвером. Существует несколько возможных конструкций второй секции. Один из таких вариантов — это предиионизация второй секции встречным лазерным импульсом. Преимуществом данного решения является относительная простота реализации, поскольку требования для встречного лазера более мягкие, чем для того, что используется в первой секции.

В данной работе рассматривается возможность использования предложенной конструкции в эксперименте AWAKE.

Недостаток этой конструкции заключается в том, что протонный пучок попадает в предиионизованный канал целиком. В результате передняя часть может самомодулироваться в плазме и создать волну, достаточно сильную, чтобы разрушить конфигурацию полей в задней части протонного пучка, что не позволит ускорять электроны. Цель данной работы заключается в определении перспективности использования предложенной конструкции. Для достижения этой цели было решено провести серию моделирований при помощи программы LCODE с опорой на экспериментальные факты и теоретические расчеты.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, проф. К. В. Лотов

## Определение загрязнения почв солями меди и никеля по электромагнитному отклику

М. А. Волкова

Томский государственный университет

Данная работа посвящена исследованию влияния продуктов загрязнения почвы на ее электромагнитный отклик.

Основными тяжелыми металлами, загрязняющими почву, являются Cu и Ni. Ионы данных тяжелых металлов содержатся в почве в виде солей  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{NiSO}_4$ , которые были использованы в эксперименте. За основу выбрана легкая суглинистая почва, распространенная в Красноярском крае. Почва увлажнялась водными растворами солей и выдерживалась в течение не менее пяти дней для равномерного пропитывания.

Исследуемый образец почвы помещался в коаксиальную ячейку между двумя шайбами из фторопласта. Ячейка с помощью фазостабильных кабелей подключалась к двум портам векторного анализатора цепей PNA E8663B, после чего измерялись комплексные параметры матрицы рассеяния  $S_{11}$  и  $S_{12}$  (коэффициента отражения и передачи) ячейки в диапазоне частот 0,01–18 ГГц.

Далее были рассчитаны спектры комплексной диэлектрической проницаемости образцов почвы с различным содержанием влаги и концентрации тяжелых металлов, основой вычисления комплексной диэлектрической проницаемости являлось численное решение нелинейного уравнения методом минимизации целевой функции.

В ходе работы было выявлено, что метод измерения в коаксиальной линии позволяет отличать увлажненную и загрязненную почвы от сухой и незагрязненной по измерениям диэлектрических характеристик. Также можно утверждать, что диэлектрическая проницаемость уверенно отражает степень загрязненности и влажности почв. Установлено, что построение диэлектрических зависимостей позволяет определить содержание тяжелых металлов в почве по скорости изменения диэлектрической проницаемости при изменении влажности загрязненного образца.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, доц. Т. Д. Кочеткова



**Разработка структуры предускорителя-группирователя  
для нерелятивистского пучка**

К. А. Гришина

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный технический университет

Для многих приложений, связанных с линейными СВЧ-ускорителями, актуальной задачей является захват в режим ускорения непрерывного нерелятивистского пучка, который поступает из источника электронов. В этом случае необходимо устройство, которое позволит преобразовать непрерывный пучок в отдельные сгустки с частотой последующих ускоряющих структур и увеличить их энергию до релятивистских значений. Такой пучок можно инжектировать в регулярные ускоряющие структуры с высоким коэффициентом захвата в режим ускорения.

Сделан расчет амплитуд поля в ускоряющих ячейках и длин резонаторов для структуры предускорителя-группирователя. В работе посчитана продольная динамика частиц, получены графики распределения продольной скорости частиц и группировки сгустков при разных токах пучка с учетом кулоновских полей пучка в программе ASTRA, получена энергия, приобретаемая частицами на выходе из структуры и процент захвата частиц.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук А. Е. Левичев

**Разработка стенда промышленного ускорителя  
с магнетроном в качестве источника питания**

Е. В. Дронова

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный технический университет

В мире имеется спрос на промышленные компактные маломощные ускорители, которые обладают малой стоимостью. В этом случае предпочтительнее использовать магнетрон в качестве источника СВЧ-питания. Для изучения режимов работы магнетрона в ИЯФ СО РАН создан стенд, состоящий из магнетрона, циркулятора и резонансной нагрузки. Для создания полноценного ускорителя необходимо дополнительно разработать ускоряющую структуру с источником электронов. В работе представлены результаты работы стенда, а также расчеты оптимальной ускоряющей структуры и выходные параметры пучка.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук А. Е. Левичев

## Моделирование и измерение поперечного акцептанса однодорожечного ускорителя-рекуператора Новосибирского ЛСЭ

А. Ю. Задоев

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

Лазеры на свободных электронах (ЛСЭ) — источники когерентного монохроматического излучения. Их принцип действия заключается в преобразовании кинетической энергии электронов в энергию электромагнитных волн при прохождении знакопеременного магнитного поля ондулятора. Частота излучения зависит от энергии ускоряемого пучка.

Новосибирский ЛСЭ — самый мощный лазер в терагерцовом диапазоне. Для ускорения электронов используется ускоритель-рекуператор (УР). В ускорителе такого типа электронный пучок сначала ускоряется в высокочастотных резонаторах, используется в ондуляторе, а затем замедляется в тех же резонаторах, возвращая энергию обратно в электромагнитное поле. Схема новосибирского УР включает в себя три ЛСЭ с разным числом дорожек и длиной волны излучения.

Несмотря на то что терагерцовый ЛСЭ запущен в 2003 году, работы по улучшению его характеристик продолжаются. Расширяется диапазон генерируемого излучения, разработан специальный режим модуляции излучения с помощью электронной пушки.

Особенностью динамики электронного пучка при генерации ЛСЭ является наличие высокого энергетического разброса, на порядок превышающего коэффициент передачи энергии в световую волну. Было замечено, что режимы работы при разных энергиях электронов и полях ондулятора могут существенно отличаться друг от друга уровнем потерь, нагревом вакуумных камер и радиационным фоном в ускорительном зале. Для анализа накопленных экспериментальных данных требуется численная модель динамики электронного пучка, согласующаяся с режимами магнитной системы ускорителя. В отсутствие системы диагностики параметров электронного пучка на однооборотном УР численную модель можно проверить с помощью сравнения измеренного и рассчитанного акцептанса электронного пучка. Моделирование производилось в программе Elegant. Матрицы дипольных магнитов восстанавливались из измеренного распределения магнитного поля. В работе обсуждаются результаты измерений и численных расчетов акцептанса однооборотного УР Новосибирского ЛСЭ.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук Я. В. Гетманов

## О смещении магнитной оси квадрупольного создания асимметрии токов

Е. О. Ким, М. Д. Буцыкина  
Новосибирский государственный университет

В этой работе рассматривается задача смещения магнитной оси квадрупольной линзы при помощи создания асимметрии силы тока в катушках линзы. При этом фокус смещается в сторону полюсов с меньшим значением силы тока в катушках.

При помощи программы для моделирования магнитных полей Mermaid была исследована зависимость модуля смещения магнитной оси квадрупольной линзы (по одной из осей линзы)

- от соотношения токов в катушках при постоянной сумме тока в них,
- суммы токов,
- значения силы тока в одной из катушек при постоянном токе во второй,
- соотношения токов при непостоянной сумме тока в них.

Были составлены сводные таблицы и построены графики зависимостей.

Анализируя полученные данные, мы смогли выяснить, что функция зависимости модуля смещения от соотношения токов является логарифмом, задающимся уравнением

$$x = \alpha \ln \frac{I_1}{I_2},$$

где  $x$  — смещение магнитной оси,  $I_1$  и  $I_2$  — сила тока в двух разных группах катушек. Причем коэффициент  $\alpha$  зависит от суммы  $I_1 + I_2$ .

Также было исследовано магнитное поле вблизи точки пересечения плоскости линзы со смещенной магнитной осью, что выявило несвойственную квадрупольно квадратичную зависимость модуля вектора магнитной индукции от расстояния. Этот факт объясняется появлением секступольной компоненты поля в связи с нарушением симметрии.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук А. А. Старостенко

**Исследование нелинейных эффектов  
вблизи главного резонанса связи в коллайдере ВЭПП-2000**

С. А. Кладов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

Частоты бетатронных колебаний частиц в коллайдере ВЭПП-2000 находятся вблизи линейного резонанса связи. Нелинейность ведущих полей и встречного пучка приводит к появлению нелинейных резонансов связи бетатронных колебаний. При совместном рассмотрении двух близко расположенных резонансов с применением усреднения быстрых фаз возможно приведение системы к интегрируемому виду, следовательно, эта динамика регулярна.

В данной работе теоретически исследованы нелинейные эффекты в одной из таких систем: при совместном действии резонансов 1-1 и 2-2. В ходе решения были получены применимые к коллайдеру результаты, важные для работы с круглыми пучками, например, условия, ведущие к нарушению круглости.

Научный руководитель — Е. А. Переведенцев

**Разработка алгоритмов и лабораторное исследование  
высокоточного солнечного датчика на основе КМОП-матрицы  
для системы ориентации сверхмалого космического аппарата**

А. Ю. Колесникова

Новосибирский государственный университет

Одной из составляющих системы ориентации сверхмалого космического аппарата является система датчиков, позволяющих получать информацию о положении внешних ориентиров на орбите. Одним из таких датчиков является солнечный датчик. Информация о положении Солнца относительно сверхмалого космического аппарата (СмКА) необходима для ориентации солнечных батарей и определения местоположения спутника.

В докладе представлена разработанная и отлаженная методика калибровки солнечного датчика, обеспечивающая точность определения направления на Солнце  $1^\circ$ . Приведены результаты калибровочных испытаний для шести датчиков. Проведена оценка точности определения направления на Солнце. Выполнен анализ источников погрешности калибровки и разработан метод их минимизации. В докладе представлены результаты натурных экспериментов, проведенных с целью подтверждения точности определения направления на Солнце с помощью разработанного датчика. Проведены виброиспытания, результаты которых подтвердили устойчивость конструкции солнечного датчика к перегрузкам в условиях запуска ракеты-носителя. Разработан алгоритм определения направления на Солнце для системы из шести солнечных датчиков, обеспечивающих полный угол обзора для СмКА.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук А. М. Задорожный

**Исследование возможности проведения экспериментов  
на встречных поляризованных ионных пучках в проекте NICA**

А. В. Купуржанов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

Проект NICA — ускорительный комплекс, создаваемый на базе Объединенного института ядерных исследований в г. Дубне. В коллайдере NICA предусмотрены две точки взаимодействия: одна для изучения столкновения тяжелых ионов на MPD (Multi-Purpose Detector) детекторе, другая для поляризованных пучков для эксперимента на установке SPD (Spin Physics Detector).

На детекторе SPD предложено проводить измерения асимметрий в образовании лептонной пары при столкновении пучков протонов и дейтронов без поляризации, с продольной и с поперечной поляризациями.

Моделирование возможности поляризации было проведено в пакете Wolfram Mathematica. Написанная автором программа позволяет проследить за изменением поляризации пучка на каждом обороте в ускорителе, также есть возможность наблюдать зависимость поляризации от конкретных факторов, таких как: флуктуации энергии и возмущение, создаваемое элементами ускорительного кольца.

Для расчета равновесной степени поляризации и зависимости спин-орбитальных функций от азимута ускорителя использовалась программа ASPIRRIN. Она позволяет проводить анализ спинового движения для сложных конфигураций магнитных полей на орбите пучка. Это дает возможность исследовать поведение поляризации в коллайдере, использующем элементы для управления поляризацией: сибирские змейки, спиновые ротаторы и флипперы.

Существует два вида поляризации пучка: статический и прецессирующий. В коллайдере NICA предполагается сталкивать протоны и дейтроны, магнитные моменты которых сильно отличаются. Поэтому выбор между статической и прецессирующей поляризацией важен. Ввиду малости магнитного момента у дейтрона статический метод не подходит.

Далее по результатам моделирования и вышеизложенного факта будет предложена техническая реализация системы, с помощью которой будут поляризовать пучки в проекте NICA.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, проф. И. А. Кооп

**Анализ орбитальных откликов для поиска нелинейных эффектов**

М. А. Лялин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

Предпосылкой к настоящей работе стали результаты измерений рассеянного поля впускного магнита накопителя ВЭПП-2000 [1]. Эксперимент показал несоответствие формы искажений орбиты модельным предсказаниям при больших амплитудах искажений. Данный факт может свидетельствовать о наличии сильных нелинейных полей. Частичное объяснение возможно при учете наличия в магнитной структуре хроматических секступолей и краевых полей фокусирующих соленоидов. Стимулом к изучению нелинейной динамики явилось ограничение динамической апертуры меньше уровня, заданного вакуумной камерой. Матрицы откликов были использованы как перспективный инструмент измерения орбиты пучка с прецизионной точностью, применение которого автоматизировано в программе 6DSimulation [2].

Проведенные работы включали создание комбинаций корректоров с целью исследования поведения орбитальных откликов в зависимости от их амплитуды. Параллельно исследовалось поведение модели накопителя в программе Strategic Accelerator Design (SAD) [3] для выявления расхождений с экспериментальными данными. Снят набор матриц откликов, записанных на шагах разной величины по силе элементов, их сравнение позволяет выявить источники нелинейностей. Также аналитически решается задача о влиянии одиночного секступоля на орбитальный отклик большой амплитуды. Полученное решение планируется сравнить с трекингом в системе SAD и с экспериментом.

---

1. Shwartz D., Koop I., Lyalin M., Perevedentsev E. Beam-based mapping of pulsed septum stray field at VEPP-2000 collider // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2019. V. 935. P. 135–142.

2. Романов А. Л. Настройка орбиты и электронно-оптической структуры накопителя ВЭПП-2000 методом матриц откликов: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 2011. 70 с.

3. Hirata K. An introduction to SAD // Second Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop. Lugano, Switzerland, 1988. P. 62–65.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук Д. Б. Шварц



## Исследование рулонного автотрансформатора Тесла

Р. А. Стяжкин

Новосибирский государственный университет

В настоящей работе был исследован рулонный автотрансформатор Тесла, который является ранее не изученным видом трансформаторов Тесла. Цель работы — сборка генератора и изучение его свойств при резонансе.

В ходе работы была собрана модель генератора, который состоит из двух гальванически связанных контуров. Устройство представляет собой рулон медной фольги с изоляционной диэлектрической прокладкой. Внешний виток рулона используется как индуктивность первичного контура, на которую разряжается емкость первичного контура. В роли вторичного контура выступают внутренние витки рулона с индуктивностью и межвитковой емкостью. Емкость первичного контура подбирается так, чтобы первичный и вторичный контуры были настроены в резонанс. Собранный генератор имеет следующие параметры: длина спиральной линии — 6,5 м; индуктивность и емкость первичного контура — 432 мкГн и 10,2 нФ, вторичного — 25,22 нГн и 137 пФ. Резонансная частота — 2,7 МГц, время прохода волны по спиральной линии — 35,3 нс, нарастания первой полуволны — 93 нс.

При замыкании ключа и разрядки первичной емкости на первичный виток происходят колебания в связанных колебательных контурах и распространение волны вдоль полосковой линии между витками.

В ходе эксперимента были получены осциллограммы напряжения при наличии и отсутствии сердечника. Полученное время нарастания сигнала до максимума составило 70 нс. Также было установлено, что это время определяется распространением волны по полосковой линии.

Анализ работы генератора, проведенный на основе полученных данных, показал, что в системе присутствуют как колебания в связанных резонансных контурах, так и распространение волны в длинной линии с отражениями. Кроме того, меняя сердечник, можно добиться оптимального времени для достижения максимального КПД на первой полуволне.

Научный руководитель — д-р техн. наук, проф. Е. И. Пальчиков

**Метод формирования линейной поляризации с меняющейся плоскостью поляризации в лазерах на свободных электронах**А. Е. Требушинин<sup>1,2</sup>, М. Э. Веремчук<sup>3</sup><sup>1</sup> Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет<sup>3</sup> Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко

Рентгеновские лазеры на свободных электронах (ЛСЭ), работающие в SASE-режиме, дают короткие импульсы поляризованного рентгеновского излучения высокой мощности [1]. Поляризационные свойства излучения определяются магнитным полем ондулятора. В работе предлагается формировать поляризацию излучения ЛСЭ на образце как в поперечном направлении, в масштабе нескольких мкм, так и/или продольно, т. е. вдоль сгустка излучения на временных масштабах 100 фемтосекунд. Метод основан на коаксиальной суперпозиции двух когерентных импульсов излучения с разными частотами, излучаемые в двух последовательно расположенных ондуляторах [2], настроенных на генерацию излучения с ортогональными поляризационными состояниями. Возможности предлагаемого метода демонстрируются с помощью численного моделирования для рентгенооптического тракта SASE3 европейского рентгеновского лазера на свободных электронах (European XFEL, Гамбург). Генерация рентгеновских импульсов излучения ЛСЭ с особыми поляризационными свойствами может быть интересна для изучения магнетизма или сверхбыстрых явлений и будет способствовать дальнейшему развитию инженерных технологий в мягком рентгеновском диапазоне. Результаты работы были опубликованы в [3].

---

1. E. Saldin et al. *The Physics of Free Electron Lasers*, Springer, 2010.

2. Kim K. J. A synchrotron radiation source with arbitrarily adjustable elliptical polarization // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* 219, 425. 1984.

3. Serkez S., Trebushinin A., Veremchuk M., Geloni G. Method for polarization shaping at free-electron lasers // *Physical Review Accelerators and Beams*. 2019. 22 (11).

Научные руководители — Dr. Phys. S. Serkez; Dr. Phys. G. Geloni

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

УДК 616-71; 681.5.08

## Разработка цифрового модуля регистрации для сканирующего проточного цитометра

Е. А. Александров

Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

Для научных исследований важным звеном является регистрация результатов, полученных из экспериментов, опытов или наблюдений. Данный аспект является значимым, поскольку от качества регистрирующей электроники зависят точность и воспроизводимость результатов исследования.

Измерения в области цитометрии выдвигают следующие требования: при спектре регистрируемого сигнала 0–200 кГц, уровне шума облучаемого лазера 0,5%, мощностью 50 мВт и регистрации рассеяния на углах 10–70° за 1 мкс детектор должен принимать не менее 10–30 фотонов. В связи с этими требованиями регистрационная система должна иметь ФЭУ в качестве датчика, УНЧ с частотой среза 200 кГц и 12-битный АЦП с частотой дискретизации 1 МГц.

Типичная конструкция современной системы регистрации предполагает несколько детекторов в связке с усилителями, подключенных к единому блоку из АЦП, и интерфейс подключения к компьютеру. Данная концепция распространена, но имеет недостатки: для связи детектора с АЦП используют аналоговые шины, которые искажают сигнал из-за помех и наводок; такую систему сложно масштабировать, так как количество детекторов ограничено количеством АЦП на блоке регистрации.

Одним из вариантов решения данных проблем является минимизация длины аналоговой шины (детектор-модуль регистрации) и использование для каждого детектора собственного независимого цифрового блока регистрации, который устанавливается непосредственно на детектор. Это позволяет напрямую с детектора получать цифровой сигнал без существенных наводок и искажений. В итоге получается единый независимый блок.

В работе представлена концепция цифрового регистрирующего модуля для сканирующего проточного цитометра. Рассматриваются технические требования к устройству. Показана логистика работы регистрирующего модуля. Проведены тестовые эксперименты на сканирующем проточном цитометре.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук К. В. Гилев

## Электроника стенда по исследованию сцинтилляционных кристаллов

А. А. Андреев  
Новосибирский государственный университет

Детекторы ионизирующего излучения — это одни из наиболее важных элементов практически любой современной экспериментальной установки в физике высоких энергий. В Институте ядерной физики СО РАН реализуется проект по выращиванию неорганических сцинтилляционных кристаллов, которые являются неотъемлемой частью таких детекторов. Для исследования характеристик изготавливаемых кристаллов был разработан стенд на основе системы на кристалле (СнК) Xilinx Zynq 7000. Данный стенд содержит несколько входов для сигналов, получаемых от сцинтилляционных детекторов, набор формирователей и 4-канальный 14-битный АЦП. Оцифрованные данные последовательно передаются в СнК, где после обработки будут отображаться через веб-сайт.

Целью данной работы является разработка прошивки для Xilinx Zynq 7000, которая включает в себя следующие модули:

- 1) дизайн программируемой логики;
- 2) образ операционной системы;
- 3) серверная часть.

Основной задачей программируемой логики является десериализация оцифрованных данных, их обработка и передача в процессорную часть. Данный модуль разрабатывается на языке описания аппаратуры интегральных схем VHDL. На процессоре будет запущен образ дистрибутива Linux PetaLinux, специально собранный под разработанный дизайн логики системы на кристалле Zynq 7000. Для отображения конечных результатов и управления стендом будет работать веб-сервер, разрабатываемый на языке Python с использованием фреймворка Django. Для его корректной работы в операционную систему добавлены необходимые пакеты и интерпретатор языка Python. Разработка веб-интерфейса производится с помощью языков HTML, CSS и JavaScript.

В результате данной работы будет завершена разработка электроники стенда по исследованию сцинтилляционных кристаллов.

Научный руководитель — канд. техн. наук В. В. Жуланов

**Разработка пакета программного обеспечения  
для параметрического моделирования детектора Супер с-т фабрики**

М. С. Белозерова

Новосибирский государственный университет

Супер с-т фабрика (СЧТФ) представляет собой проект электрон-позитронного коллайдера в Институте ядерной физики им. Будкера СО РАН. Одним из важных этапов проектирования детектора частиц, которым будет оборудован данный коллайдер, является его компьютерное моделирование. Оно позволяет определить необходимые для успешного выполнения физической программы эксперимента параметры детектора.

На текущий момент реализованы все важные подсистемы детектора: дрейфовая камера, калориметр, а также несколько подсистем идентификации (FDIRC, мюонная система и др.). Кроме того, был разработан пользовательский интерфейс, позволяющий изменять параметры модели детектора. Для проверки правильности проведения частиц через объем были написаны соответствующие тесты. Также в рамках пакета программного обеспечения для СЧТФ была разработана реконструкция частиц, которая учитывает слияние электромагнитных кластеров в калориметре детектора.

Программное обеспечение для параметрического моделирования СЧТФ разрабатывается на языке Python. Входные данные представляют собой ROOT-файл, созданный с помощью внешнего первичного генератора, с объектами из модели событий. Модель события создана с помощью пакета PODIO. Выходной файл также представляет собой ROOT-файл, содержащий в себе различные характеристики частиц (например, импульс, начальную координату, отклики систем идентификации). Параметры для моделирования хранятся в отдельных конфигурационных файлах.

На данный момент существует версия программного обеспечения для параметрического моделирования детектора Супер с-т фабрики, и уже есть первые пользователи.

В дальнейшем планируется реализация параметрического моделирования в рамках проекта «Аврора» с использованием функционала Gaudi на языке C/C++.

Научный руководитель — Г. П. Разуваев

**Автоматизация процесса измерения электромагнитного отклика  
от композиционных материалов с использованием приборов серии P2M**

Р. А. Василенко, О. С. Жабин  
Томский государственный университет

В современном мире композиционные материалы играют важную роль, так как они имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными материалами: легкость, надежность, высокая износостойкость и др. Композиционные материалы нашли широкое применение во всех сферах жизнедеятельности человека. Данные материалы используют как в медицине, так и в военно-промышленном комплексе. В последнем случае композиты находят применение в качестве элементов, снижающих радиозаметность различных военных объектов. Для получения электромагнитных характеристик данных материалов широко применяются скалярные и векторные анализаторы цепей. Одним из приборов, используемых на радиофизическом факультете ТГУ, является скалярный анализатор цепей P2M, предназначенный для измерения модулей коэффициентов отражения, передачи, а также коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) в диапазоне от 10 МГц до 40 ГГц. Этот прибор разработан НПФ «Микран» (г. Томск).

Также этой фирмой разработано программное обеспечение Graphit для работы с прибором P2M. Однако данная программа имеет существенное ограничение, которое заключается в том, что не осуществляется обработка результатов измерений, получаемых в реальном времени.

Основываясь на том, что программа Graphit позволяет пользователям самостоятельно создавать программы управления прибором P2M с помощью стороннего программного обеспечения, такого как LabVIEW, MS Excel, C++, авторами были разработаны программы для автоматизации измерений и обработки данных в средах программирования LabVIEW и Python.

Созданная авторами программа в среде LabVIEW позволяет реализовать отображение коэффициентов прохождения и отражения; получать данные о магнитной проницаемости в зависимости от частоты и толщины опытного образца; сохранять результаты измерений в текстовый файл. Программа в среде Python позволяет представлять результаты измерений и сохранять их в графических файлах, а также проводить предварительный сравнительный анализ характеристик измеряемых материалов.

Научный руководитель — доц. А. А. Жуков

## **Алгоритм вычисления основных характеристик сигналов электромагнитного калориметра Супер с-т фабрики**

А. А. Глушак

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный технический университет

В Институте ядерной физики СО РАН разрабатывается проект нового ускорительно-накопительного комплекса высокой светимости Супер с-т фабрика. Основной целью экспериментов на будущей установке является всестороннее изучение физики с-кварка и  $\tau$ -лептона.

Для выполнения физической программы требуется создание универсального магнитного детектора, удовлетворяющего жестким требованиям. Одной из подсистем детектора является электромагнитный калориметр, в котором с помощью сцинтилляционных счетчиков происходит преобразование энергии регистрируемых частиц в пропорциональные по величине электрические сигналы.

Основные задачи считывающей электроники калориметра — формирование сигналов с зарядочувствительных предусилителей, оцифровка сигналов с анализом формы для определения основных характеристик, передача полученных данных в общую систему сбора данных. На данный момент разрабатывается четырехканальный прототип модуля сбора данных, одним из этапов работы над которым является разработка дизайна, программируемого пользователем вентиляционной матрицы (FPGA).

Целью работы является создание алгоритма вычисления основных характеристик сигналов электромагнитного калориметра Супер с-т фабрики. В ходе работы была разработана общая структура проекта извлечения полезных характеристик; проведено исследование основных методов получения характеристик сигнала — амплитуды, времени появления относительно сигнала триггерной системы и качества аппроксимации; выполнен поиск аналитической формы выходного сигнала формирующего усилителя; определена точность восстановления амплитуды и времени для каждого метода с помощью метода Монте-Карло.

Научный руководитель — канд. техн. наук В. В. Жуланов

**Микроконтроллерная система измерения толщины  
напыляемой нанопленки для установки вакуумного напыления**

В. А. Дроботун

Институт автоматики и электротметрии СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

Установки вакуумного напыления нанопленок широко распространены ввиду простоты настройки и высокого качества получаемых покрытий. Ранее в ИАиЭ была разработана система контроля и поддержания температуры нагревателя для УВН-71-ПЗ. Также система контролирует время напыления, управляя заслонкой, отделяющей напыляемое вещество от изделий. Таким образом, система увеличивает качество покрытий, при этом повышая повторяемость процесса напыления. Толщина пленки контролируется интерферометрическим методом, сигнал с сенсора выводится на самописце и интерпретируется оператором, при этом погрешность напыления составляет порядка 100 нм. Для повышения качества напыления предложено разработать цифровой датчик измерения толщины пленки с погрешностью не более 50 нм, и впоследствии интегрировать его в существующую автоматическую систему.

В ходе работы был проведен анализ сигнала с оптического сенсора, выявивший большое количество шумов и неустойчивость постоянной составляющей сигнала, предположительно связанную с изменением мощности лазера. Для устранения помех был разработан фильтр-усилитель второго порядка на ОУ LMC6482 с частотой среза 2,5 Гц и регулируемым коэффициентом усиления. Используется дополнительный оптический сенсор контроля мощности лазера для коррекции сигнала с интерферометра. Для получения цифрового сигнала используется АЦП AD7792, обработка сигнала осуществляется на микроконтроллере ATmega1280. Для защиты системы используется гальваническая развязка на оптопарах. Для системы предусматривается два варианта работы — вывод данных на ПК по протоколу UART, либо использование в системе управления установкой путем подключения по I<sup>2</sup>C. В настоящий момент собран и протестирован макет системы, настроен аналоговый фильтр, с помощью тестового ПО получены записи сигналов с оптических датчиков.

В дальнейшем планируется отладка алгоритма вычисления толщины пленки и эмпирическое исследование характеристик системы в процессе напыления.

Научные руководители — д-р техн. наук В. Е. Зюбин, А. С. Розов



## **Зависимость сопротивления тонких углеродных пленок от концентрации пропана**

Е. И. Захаров

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск

Тонкие углеродные пленки могут быть использованы как эффективные сенсоры для взрывоопасных газов, таких как пропан и бутан [1].

Углеродные пленки толщиной до 100 нм были синтезированы плазменным осаждением атомов углерода на поверхности различных подложек (Si, SiO<sub>2</sub> и кварцевое стекло) и последующей термообработки в атмосфере аргона при температурах от 6500 до 8000 °С [2]. Мощность радиочастотной (13,56 МГц) плазмы составляла 200 Вт, время обработки не превышало 9 мин. Для исследований зависимости сопротивлений от содержания пропана была изготовлена газовая камера. Образцы помещались внутри камеры с газом, и с помощью мультиметра Mastech MY-62 измерялось сопротивление. Определение концентрации газа проводилось с помощью датчика MQ4. Относительные изменения сопротивлений образцов ( $\Delta R/R_0$ ) составляли от 15 до 30% при изменении концентрации пропана около  $6 \cdot 10^4$  ppm. Время восстановления исходного сопротивления образца после запуска воздуха составляло от 6 до 20 мин в зависимости от условий термообработки и выбора подложки углеродной пленки. Максимальная абсолютная чувствительность исследованных углеродных пленок достигала 0,3 Ом/ppm. В докладе будет проводиться обсуждение полученных результатов.

---

1. Rashid H., Koel A., Rang T. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 362 (1). P. 012001.

2. Неустроев Е. П., Прокопьев А. Р. Радиоэлектроника, наносистемы, информационные технологии. 2019. Т. 11(3). С. 315–320.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук Е. П. Неустроев

## Классификация коллинеарных событий методами машинного обучения

А. С. Зубакин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

В рамках данной работы проверялась возможность разделения коллинеарных событий, зафиксированных на детекторе КМД-3, работающего на коллайдере ВЭПП-2000, расположенного в институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН. В отобранном множестве коллинеарных событий присутствуют следующие конечные состояния:  $e^+e^-$ ,  $\mu^+\mu^-$ ,  $\pi^+\pi^-$  и, частично,  $K^+K^-$ . Основная цель работы заключается в разработке метода подсчета числа событий  $\pi^+\pi^-$  с процентной точностью. В связи с плохой отличимостью их от  $\mu^+\mu^-$  и резким падением их количества на больших энергиях эта задача вызывает особый интерес.

Для различных типов частиц существуют признаки, по которым можно определить их принадлежность. Однако если количество таких признаков слишком велико или их значения близки друг к другу, то задача может стать нетривиальной. В таких ситуациях удобно заменить множество данных, характеризующих событие, одним числом, классификатором, являющимся своего рода сверткой всей информации. Для построения классификаторов удобно использовать методы машинного обучения.

Для решения данной задачи были обучены несколько классификаторов, с помощью алгоритмов деревьев принятия решения (BDT), поставляемых вместе с пакетом TMVA, а также с помощью нейронной сети, реализованной с помощью библиотеки TensorFlow. В качестве обучающих массивов данных использовались смоделированные в детекторе КМД-3 события. На вход классификаторам подавались энергетические характеристики событий: суммарное энерговыделение в калориметрах, а также продольный и поперечный профили.

Путем сравнения откликов классификаторов на одинаковых входных данных был выбран лучший для поставленной задачи. Изучены различные способы классификации и подсчета событий. Как основной результат проделанной работы продемонстрированы результаты расчета формфактора пиона, основанные на описанных методах.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, проф. И. Б. Логашенко

## Разработка ПО для онлайн-монитора светимости детектора Belle II

К. О. Каня

Новосибирский государственный университет

В 2018 г. на ускорительном комплексе SuperKEKB начался эксперимент Belle II, проектная светимость которого  $8 \cdot 10^{35} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ . Один из способов контроля набора данных и проверки корректности работы ускорителя — измерение светимости. Для этого в институте ядерной физики был разработан онлайн-монитор светимости, который измеряет скорости счета событий  $e^-e^+$  рассеяния с электромагнитного калориметра.

Целью данной работы является написание ПО для монитора светимости, которое будет обеспечивать первичную проверку качества, отображение, архивирование и передачу данных. Многопоточное приложение было реализовано на языке программирования Python. Для передачи данных в систему медленного контроля EPICS использовалась библиотека pythonIOC.

Для детального анализа работы систем был реализован расчет интегральной светимости за характерные промежутки времени. Для проверки работы калориметра добавлен расчет значений пьедесталов для каждого сектора в режиме реального времени. Для повышения стабильности работы ПО реализовано сохранение текущего состояния в базу данных (БД), при перезапуске данные автоматически восстанавливаются. Также в БД записываются значения светимости с предыдущих заходов для последующего анализа. Для удобства отслеживания работы онлайн-монитора светимости была создана программа для визуализации, позволяющая получить все необходимые параметры и данные с монитора светимости. Графический интерфейс был реализован на языке программирования C++ с использованием фреймворка Qt. Для получения корректных данных необходимо периодически проводить калибровку монитора светимости. В связи с этим возникла задача автоматизировать данный процесс: расширен протокол управления монитором светимости, что позволило параллельно устанавливать конфигурацию монитора и калориметра и управлять чтением данных с соответствующих модулей. Калибровочные коэффициенты сохраняются в БД и автоматически считываются при запуске монитора светимости.

В результате данной работы реализовано ПО для монитора светимости, которое позволяет контролировать процесс работы ускорителя и детектора, а также проверять, сохранять и отображать данные с монитора светимости.

Научный руководитель — М. А. Ремнев

**Калибровка неоднородностей  
аэрогелевого черенковского счетчика СНД**

В. А. Кладов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

Аэрогелевый черенковский счетчик детектора СНД применяется для идентификации заряженных частиц. Имеется два варианта счетчика с показателями преломления аэрогеля, равными 1,05 и 1,13. Первый вариант используется для  $e/\rho l$  разделения при энергии ниже рождения  $\phi$ -мезона, второй вариант — для  $\rho l/K$ -разделения на высоких энергиях. В данной работе рассматривается процедура калибровки неоднородности счетчика с плотным аэрогелем. Неоднородность возникает из-за нескольких причин, главной из которых является ухудшение прозрачности аэрогеля со временем. В результате калибровки будет получена карта неоднородности, которая будет применяться для придания реалистичности отклика аэрогелевого счетчика в моделировании.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук К. И. Белобородов

## **Разработка программы для редактирования временных диаграмм с помощью графов**

М. А. Литвинцева

Новосибирский государственный университет

При автоматизации крупных установок возникает задача построения временных диаграмм, содержащих информацию о моментах наступления событий: запусков измерительных устройств, срабатывания источников питания и т. д. друг относительно друга. Обычно такие диаграммы составляют вручную, после чего оператор вычисляет моменты запусков и записывает их в аппаратуру, формирующую синхроимпульсы. При таком подходе учитывать взаимосвязи между событиями достаточно сложно, и при модификации временной диаграммы повышается вероятность ошибки.

Для облегчения работы оператора была написана программа, в которой временная диаграмма представлена в виде системы линейных уравнений, эта система решается, после чего вектор решений записывается в аппаратуру.

Моей задачей было дополнить эту программу визуализацией временных взаимосвязей в виде графов, что удобно для их составления и анализа, а также расширить функционал основной программы.

В докладе представлены реализованные функции и инструменты для работы с графом. Показано, с помощью какого функционала была осуществлена возможность интерактивной работы с графом. В ходе работы были решены некоторые проблемы, связанные с видом вводимых в исходную программу данных, и разбиение в ряде случаев графа на лес. Также в докладе показано, какие расширения и модификации были добавлены в основную программу. Изначально в программу было возможно вводить линейные уравнения с одной неизвестной в правой и левой части. Такая реализация неудобна, если есть необходимость параметризации системы уравнений. Был разработан алгоритм, позволяющий параметризовать систему уравнений при помощи констант, а также модифицированы синтаксический анализатор и окно визуализации графа для работы с константами.

Научный руководитель — Г. А. Фатькин

## Оценка характеристик «дрейфа» самолетных следов над Томском

И. Д. Брюханов<sup>1,2</sup>, О. Ю. Локтюшин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Томский государственный университет

<sup>2</sup> Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, Томск

Изменение глобальной облачности вследствие образования конденсационных следов самолетов создает дополнительные трудности в оценке потоков излучения, приходящих от Солнца и уходящих в космос от поверхности Земли и атмосферы. Актуальность исследования самолетных следов обостряется ввиду растущего авиационного трафика по всему миру и все большего внимания, уделяемого в современном обществе антропогенному воздействию на климат [1].

Особенности взаимодействия излучения с облаками определяются их микроструктурой. В конденсационных следах самолетов образуются кристаллические частицы льда, которые способны принимать горизонтальную ориентацию, образуя «зеркальные» слои. Такие слои можно обнаружить, если посылать поляризованное лазерное излучение и анализировать состояние поляризации отраженного. Это позволяет экспериментально определить матрицу обратного рассеяния света (МОРС). Исследования конденсационных следов самолетов ведутся в Томске на высотном поляризационном лидаре НИ ТГУ.

Для интерпретации результатов [2] разработан и программно реализован алгоритм идентификации самолетных следов на основе совместного анализа лидарных, траекторных и метеорологических данных. Установлено, что в сентябре–октябре 2019 г. в радиусе 100 км вокруг Томска пролетело около 11 тысяч самолетов. Около 54 % следов дрейфовали в направлении Томска. Благоприятные для зондирования метеорологические условия реализовались в 7 % дней указанных месяцев, что позволило исследовать лидаром НИ ТГУ конденсационные следы и установить наличие ориентированных кристаллических частиц. Показано, что ориентация кристаллов в конденсационных следах явление нередкое, а значит, необходим учет особенностей микроструктуры самолетных следов в климатических моделях.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ  
(гранты № 19-45-703010 и 19-45-700008).*

1. Minnis P., Ayers J. K., Palikonda R. et al. // Journal of Climate. 2004. V. 17. P. 1671–1685.

2. Самохвалов И. В., Брюханов И. Д., Локтюшин О. Ю. и др. // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32. № 3. С. 193–201.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, проф. И. В. Самохвалов

**Пакет программ для отбора событий  
в эксперименте на Супер С-Тау фабрике**

В. А. Майборода

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

Супер С-Тау фабрика — проект электрон-позитронного коллайдера ИЯФ СО РАН для изучения частиц, содержащих очарованный кварк, и распадов тау-лептонов. Место взаимодействия пучков будет оснащено универсальным детектором частиц. Для проведения подобного эксперимента необходимо программное обеспечение, регулирующее работу считывающей электроники детектора, сбор и обработку данных. Высокая светимость коллайдера ( $10^{35} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ) подразумевает большое количество столкновений частиц и огромный размер массивов собранных данных о произошедших распадах.

В рамках данной работы разработаны средства для описания свойств элементарных частиц, реконструкции распадов частиц, вычисления различных кинематических параметров, отбора событий и сохранения необходимой информации в формате ROOT TTree. Разработка велась на языке C++ в рамках программной среды Augoга, которая основана на пакете Gaudi. Пользовательский интерфейс к разработанным средствам обеспечен с помощью языка python.

Структура разработанных инструментов основана на опыте экспериментов LHCb и Belle II. Инструменты предоставляют высокоуровневый интерфейс к большинству стандартных операций первичного отбора событий. Для реконструкции некоторого распада пользователю необходимо задать строчку распада, такую как « $D^0 \rightarrow K \pi^+$ », набор критериев отбора и набор параметров, которые необходимо сохранить в файл. Разработанные инструменты позволяют быстро приступить к анализу данных, избежать ошибок при выполнении стандартных действий, а также сделать процедуру отбора событий ясной и воспроизводимой.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук В. С. Воробьёв

## **Облачные средства управления малыми космическими аппаратами**

А. А. Митрохин

Новосибирский государственный университет

На сегодняшний день в числе искусственных спутников Земли насчитывается несколько сотен функционирующих малых космических аппаратов (МКА), значительная часть которых выполнена в формате CubeSat. В проектах по запуску спутников формата CubeSat большую часть бюджета составляют затраты на постройку собственного наземного комплекса управления (НКУ). К тому же из-за того, что такие космические аппараты располагаются на низких околоземных орбитах (300–600 км), время, на протяжении которого аппарат находится в зоне радиовидимости единичного НКУ, составляет не более 20 минут. В связи с этим наблюдается активный рост рынка предоставления услуг связи с МКА. Свои решения предлагают крупные компании с большим опытом разработок в космической сфере и сфере связи с КА и различные стартап-проекты. Разработка своего распределенного (облачного) центра управления полетами (ЦУП) также ведется в Новосибирском государственном университете. В рамках данной работы был проведен анализ наиболее развитых систем, предоставляющих схожий функционал и сравнение их с разрабатываемой в НГУ системой распределенного ЦУП для МКА «sCloud».

Цель работы — проанализировать информацию о существующих в мире аналогах и сравнить их с системой «sCloud» по ключевым параметрам: частотные диапазоны, в которых работают приемо-передающие устройства антенн, количество антенн, количество пользователей, возможность и цена расширения сети антенн.

В ходе работы проанализирована информация о шести проектах, предоставляющих услуги связи с МКА. Среди них есть как уже работающие системы, так и только запущенные проекты. На прием и передачу сигнала в основном поддерживаются VHF (30–300 МГц) и UHF (300 МГц — 3 ГГц) диапазоны. Для реализации распределенной сети антенн используются разные подходы: развитие собственной сети однотипных антенн либо развитие собственной сети антенн и подключение к системе партнерских антенн. Ключевым преимуществом системы «sCloud», исходя из анализа, является низкая стоимость расширения сети антенн.

Научный руководитель — В. Ю. Прокопьев



## **Hierarchical clustering of the precomputed signals database to solve the parametric inverse light-scattering problem**

A. R. Muliukov

Novosibirsk State University

V. V. Voevodsky Institute of Chemical Kinetics  
and Combustion of the Siberian Branch of the RAS

Having the particle model with several free parameters, which are determined by fitting an experimental signal (typically, a light-scattering pattern — LSP) with the simulated ones, the inverse light-scattering (ILS) problem boils down to finding the nearest neighbor in a huge preliminary constructed database. A by-product of the direct search is the distances between an experimental signal and all entries in the database. They are further used in a statistical analysis for the estimation of confidence ranges (uncertainties) of the model parameters [1]. This approach has been successfully used to characterize several classes of biological cells in a flow using the LSPs measured with a scanning flow cytometer [1, 2]. These cells were described by 4–5 parameters and databases had up to  $10^6$  entries. The processing of each experimental LSP took about 1 second on a desktop, which is still far from real-time, considering measuring speed of 100 particles per second.

The goal of this work is to further decrease the processing time by hierarchically clustering the precomputed database into a binary tree. Knowing the radius of each cluster, we can rigorously discard some of the clusters entirely during the nearest-neighbor search. Importantly, this reduced number of distances is sufficient for the above-mentioned statistical analysis. Overall, the clustering decreases the computational complexity of ILS solution down to potentially logarithmic in the database size, which allows much larger databases (hence, better accuracy). In practice, we have an acceleration of the calculation by 1–2 orders of magnitude (depending on the design of the database). We will discuss the range of possible computational speedup and the accumulating errors of statistical parameters resulting from the approximation of a real problem by clusters.

---

1. Moskalensky A. E. et al. Accurate measurement of volume and shape of resting and activated blood platelets from light scattering // *J. Biomed. Opt.* 18, 017001 (2013).

2. Gilev K. V. et al. Mature red blood cells: from optical model to inverse light-scattering problem // *Biomed. Opt. Express* 7, 1305–1310 (2016).

Scientific adviser — Ph. D. M. A. Yurkin

## Изучение влияния параметров активной среды на спектральный состав излучения малогабаритного CO<sub>2</sub>-лазера

Е. Г. Нехорошева

Новосибирский государственный технический университет

Среди лазеров 10 мкм диапазона особое место занимают волноводные CO<sub>2</sub>-лазеры с ВЧ-разрядом, которые могут иметь небольшие размеры (100–150 мм), что позволяет их использовать в переносных приборах. Однако при этом усложняется селекция длин волн, так как увеличивается частотный интервал между продольными модами, что приводит к генерации нежелательных линий и неприемлемо для ряда приложений. Для выделения требуемой линии генерации можно воспользоваться дифракционной решеткой, но в случае компактных систем это приводит к уменьшению мощности генерации и амплитудной модуляции излучения.

Контроль количества линий генерации можно получить с помощью изменения давления газовой смеси и коэффициента пропускания выходного зеркала, что влияет на спектральную ширину области генерации лазера на той или иной линии. В данной работе теоретически и экспериментально показано, что такой способ позволяет уменьшить число генерируемых линий в компактном CO<sub>2</sub>-лазере. При моделировании менялось рабочее давление активной среды и коэффициент пропускания выходного зеркала. При этом фиксировались количество и спектральный состав генерируемых линий от изменения длины резонатора для нескольких значений коэффициента пропускания и рабочего давления активной среды.

Аналогичные зависимости при изменении указанных параметров можно было наблюдать экспериментально. В данном случае изменение длины резонатора происходило за счет теплового расширения корпуса лазера при достаточно продолжительной работе (десять минут). Эксперименты проводились на лабораторном макете лазера. Выходная мощность лазера измерялась измерителем оптической мощности и энергии Ophir Vega. Качество пучка выходного излучения контролировалась с помощью измерителя профиля лазерного излучения PYROCAM PY-III-C-A. Для измерения зависимости длины волны лазерного излучения от времени использовался измеритель длины волны WS6 200 IR III. Полученные экспериментальные результаты качественным образом согласуются с расчетами и позволяют определить области значений давления активной среды и пропускания выходного зеркала резонатора необходимые для задания спектрального состава выходного излучения, пригодного для стабильной работы лазера в составе газоаналитического прибора, в частности, лазерного оптико-акустического течеискателя SF6 ЛазерГазТест.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук А. И. Карапузиков

## **Создание системы управления волоконного лазерного резонатора на основе алгоритмов машинного обучения**

А. В. Пещенюк

Новосибирский государственный университет

Волоконные лазеры сверхкоротких импульсов широко используются в фундаментальных и прикладных задачах. Однако свойства импульсной генерации в волоконном лазере сильно зависят от влияния окружающей среды. Например, физическое воздействие на лазерный резонатор или изменение температуры окружающей среды может привести к дестабилизации и исчезновению импульсного режима.

Одним из перспективных решений данной проблемы является создание самонастраивающихся лазеров, которые способны адаптироваться к изменениям окружающей среды. Ключевым элементом подобных лазеров является система обратной связи: по данным, полученным с измерительной системы, принимается решение об изменении параметров элементов в лазерном резонаторе. Необходимость измерения временных и спектральных характеристик импульсного излучения значительно усложняет систему обратной связи, заставляя использовать несколько сложных измерительных приборов.

Цель данной работы — разработка автоматической системы управления волоконным лазером на основе алгоритмов машинного обучения. В качестве обратной связи для алгоритма использовалась методика дисперсионного фурье-преобразования (ДФП) осциллограммы импульсного излучения [1], которая позволяет одновременно определять и временные, и спектральные свойства импульсного излучения. Данный подход демонстрируется на примере использования эволюционного алгоритма, который управляет электронным контроллером поляризации лазерного резонатора для получения оптических солитонном фемто-секундной длительности.

---

1. Goda K., Jalali B. Dispersive Fourier transformation for fast continuous single-shot measurements // *Nature Photonics*. 2013. Vol. 7. P. 102–112.

Научный руководитель — А. Ю. Кохановский

**Методика компьютерного моделирования физических процессов  
в бортовой радиоэлектронной аппаратуре**

Е. Ю. Полуйко

Высшая школа экономики, Москва

Проектирование нового устройства бортовой радиоэлектронной аппаратуры всегда сопровождается многократными итерациями для обеспечения различных функциональных и конструктивных параметров, с ошибочными решениями и неоправданными затратами на их устранение. Во избежание подобных явлений инженеры постоянно трудятся над вопросом наиболее удобного и точного способа моделирования тех или иных физических процессов, протекающих в устройстве. Главная цель работы — предложить методику моделирования, работоспособность которой была апробирована в учебных задачах и в реальном процессе разработки устройства оптоэлектроники.

Методика основана на применении для моделирования тепловых и механических процессов программного комплекса АСОНИКА, а именно подсистем АСОНИКА-Т и АСОНИКА-ТМ. Первая позволяет исследовать тепловые процессы на макроуровне, то есть на уровне всего устройства, вторая отвечает за расчет температурных и механических нагрузок каждого электрорадиоэлемента. После получения технического задания и разработанной 3D-модели устройства предлагается провести макро моделирование тепловых процессов, на основе которого уже возможно сделать первоначальный вывод о надежности устройства в заданных заказчиком пределах. Дальнейшее моделирование позволяет проанализировать режимы работы каждого элемента на печатных узлах для выявления их возможных температурных и механических перегрузок. Основная часть методики — перечень конструктивных методов снижения полученных в результате моделирования перегрузок, среди которых перерасположение элементов, использование тепловой шины, тепловых трубок или термостабилизирующего места установки, добавление ребер жесткости, создание дополнительных опор и т. п. В работе рассмотрено, в каких именно случаях целесообразно использовать тот или иной метод, а также даны примеры применения некоторых из них.

Научный руководитель — канд. техн. наук С. Ю. Сотникова

## **Аппаратная часть программного комплекса системы визуализации отложений внутри вихревых камер**

Д. О. Семенов

Новосибирский государственный университет

Вихревые камеры используются во многих энергетических системах, углеводородных топках и технологических печах. Эксперименты на таких установках сопровождаются сложными физическими условиями внутри камер, что затрудняет контроль геометрии вихревой камеры.

В ИТ СО РАН разрабатывается система визуализации отложений внутри вихревой камеры, предназначенная для работы в условиях сильного загрязнения поверхностей и температуры, достигающей 1200 °С. Конструкция данной системы должна обеспечивать охлаждение корпуса, наблюдение через отверстие малого диаметра и освещение внутренней полости вихревой камеры; также должен осуществляться контроль перегрева системы.

Целью данной работы является разработка модуля работы с аппаратной частью системы визуализации отложений. Данный модуль представляет собой микроконтроллер Iskra JS на базе 32-битного микроконтроллера ARM Cortex-M4. Необходимо создать программное обеспечение для управления всей аппаратной частью системы визуализации с помощью данного микроконтроллера. Микроконтроллер должен передавать данные по сети Ethernet, управлять затвором камеры и осуществлять включение осветителей по алгоритмам, зависящим от команд, поступающих с компьютера. Также необходимо реализовать опрос датчиков температуры и в случае превышения критических значений сигнализировать об этом.

Разработано программное обеспечение микроконтроллера. Связь с компьютером осуществляется с помощью платы расширения Ethernet Shield по написанному протоколу связи. Реализовано несколько режимов работы системы визуализации: остановка видео, начало записи и загрузка новых параметров кадра изображения. С помощью микроконтроллера осуществляется управление затвором камеры, включением и выключением осветителей и опрос датчиков температуры ds18b20 по протоколу MODBUS. Учтены все необходимые задержки драйверов питания осветителей на создание синхроимпульса перед началом кадра видеокамеры.

Был разработан модуль работы с аппаратной частью системы визуализации отложений внутри вихревых камер, создано программное обеспечение для управляющего микроконтроллера, позволяющего удаленно работать со всей системой.

Научный руководитель работы — д-р техн. наук С. В. Двойнишников

## **Исследование черенковской компоненты излучения в кристаллах $\text{LYSO}(\text{Ce})$**

Г. С. Чижик, В. А. Кладов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

В данной работе исследуется влияние черенковской компоненты излучения на временное разрешение регистрации минимально ионизирующих частиц в сцинтилляционном кристалле  $\text{LYSO}(\text{Ce})$  с размерами  $3 \times 4 \times 50$  мм. Для регистрации света на торцах кристалла были установлены кремниевый фотоумножитель и фотоэлектронный умножитель с микроканальными пластинами.

Черенковское излучение обладает коническим фронтом, в связи с чем при прохождении заряженной частицы через кристалл под углом часть черенковского излучения не попадет в угол полного внутреннего отражения. Приход черенковского излучения в один из торцов будет подавлен, что приведет к смещению времени регистрации.

Представлено описание эксперимента на выведенном пучке коллайдера ВЭПП-4М Института ядерной физики им. Г. И. Будкера по измерению черенковской компоненты излучения, а также моделирование процесса методом Монте-Карло в среде GEANT4.

Исследование демонстрирует сдвиг времени регистрации частиц на торцах кристалла, равный 65 пикосекундам.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук А. Ю. Барняков

**Разработка стека программного обеспечения  
для многопоточной работы устройств на шине VME64 BINP**

Н. С. Щегольков

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

Электроника, построенная на основе магистрально-модульного стандарта VME, получила широкое применение на ускорительных комплексах ведущих мировых научных центров. На настоящий момент в ИЯФ VME-электроника применяется в контрактных работах: в системе управления ускорителем ЛИУ-20, системе измерения импульсных полей в канале транспортировки частиц Бустер — Нуклотрон комплекса НИКА (ОИЯИ, г. Дубна), а также на действующих установках Института. Отличительной особенностью техники, разрабатываемой в ИЯФ, является поддержка общей частоты тактирования и точной межмодульной синхронизации, достигаемой за счет применения специализированной магистрали в крейте VME64 BINP собственной разработки. Примером актуальной VME-электроники являются цифровые интеграторы VsDC3, VsDC4. Эти устройства предназначены для измерения магнитных полей индукционным методом и находят свое применение в системах измерения магнитных полей методом перемещаемых катушек, а также для контроля стабильности работы импульсных магнитов с помощью встроенных катушек в процессе эксплуатации комплексов. В качестве системного контроллера в крейтах VME64 BINP применяется контроллер MVME-3100. Связь контроллера с внешними компьютерными системами производится по Ethernet.

Целью данной работы является разработка библиотеки для работы новых цифровых интеграторов на шине VME и клиент-серверного программного обеспечения для обмена данными с внешними системами.

В докладе представлена реализация библиотеки VsDC\_lib, обеспечивающей управление интегратором по шине VME. В крейте VME64 BINP может быть установлено до 18 цифровых интеграторов, каждый оснащен памятью объемом 16 МБ для хранения осциллограмм индукционных сигналов. Для увеличения быстродействия работы контроллера MVME-3100 считывание блоков по шине реализовано с использованием подсистемы прямого доступа к памяти (DMA). На базе распределенной системы управления TANGO был разработан сервер, дающий параллельный доступ к настройке интеграторов и вычитыванию данных. Для управления сервером разработан python-клиент.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, доц. Г. А. Фатькин

## **Разработка алгоритма кинематической реконструкции распадов частиц, основанного на фильтре Калмана**

Д. Д. Яковлев

Новосибирский государственный университет

В экспериментах по изучению тяжелых кварков часто встречаются каскадные распады, содержащие сразу несколько вершин. Поскольку детектор регистрирует только конечные частицы распада, то необходим алгоритм для реконструкции всего дерева распада, опирающийся на кинематику (закон сохранения четырехимпульса, пересечение треков дочерних частиц в точке распада, ограничение на инвариантную массу частицы). Такие алгоритмы принято называть алгоритмами кинематической реконструкции. Они являются неотъемлемой частью любого коллайдерного эксперимента.

Традиционный подход предполагает реконструкцию дерева распада по-слою, т. е. из конечных соответствующих дочерних частиц строятся виртуальные материнские частицы, далее процедура повторяется уже для материнских частиц. Такой подход имеет существенный недостаток: в каскадных распадах вышестоящие частицы не вносят вклада в реконструкцию дочерних частиц.

Чтобы преодолеть этот недостаток, используется реконструкция всего дерева распада целиком. Однако наивный подход, который учитывает кинематические ограничения с помощью метода множителей Лагранжа, обладает большой вычислительной сложностью.

В работе рассматривается алгоритм реконструкции, основанный на итеративном подходе с использованием фильтра Калмана. Данный подход позволяет учитывать измерения и кинематические ограничения по отдельности, а также позволяет материнским частицам оказывать влияние на дочерние. Такая факторизация реконструкции позволяет снизить вычислительную сложность процедуры.

Целью работы является создание программного пакета, базирующегося на последнем методе. Также алгоритм должен поддерживать интерфейс, позволяющий описывать необходимый распад и соответствующие кинематические ограничения в строковом представлении.

Для исследования алгоритма был создан прототип на Python. Для дальнейшей реализации пакета решено использовать язык C++ и библиотеку Eigen3, поскольку скорость реконструкции при большом объеме данных имеет решающее значение. В будущем планируется провести интеграцию разрабатываемого пакета в фреймворк анализа данных Супер C-Tau фабрики Aurora.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук В. С. Воробьев



## Указатель авторов

Александров Е. А. ....	17	Кладов В. А. ....	36
Андреев А. А. ....	18	Кладов С. А. ....	11
Байструков М. А. ....	5	Колесникова А. Ю. ....	12
Белозерова М. С. ....	19	Купуржанов А. В. ....	13
Брюханов И. Д. ....	28	Литвинцева М. А. ....	27
Буцькина М. Д. ....	10	Локтюшин О. Ю. ....	28
Василенко Р. А. ....	20	Лялин М. А. ....	14
Веремчук М. Э. ....	16	Майборода В. А. ....	29
Волкова М. А. ....	6	Митрохин А. А. ....	30
Глушак А. А. ....	21	Нехорошева Е. Г. ....	32
Гришина К. А. ....	7	Пешенюк А. В. ....	33
Дроботун В. А. ....	22	Полуйко Е. Ю. ....	34
Дронова Е. В. ....	8	Семенов Д. О. ....	35
Жабин О. С. ....	20	Стяжкин Р. А. ....	15
Задоев А. Ю. ....	9	Требушинин А. Е. ....	16
Захаров Е. И. ....	23	Чижик Г. С. ....	36
Зубакин А. С. ....	24	Щегольков Н. С. ....	37
Каня К. О. ....	25	Яковлев Д. Д. ....	38
Ким Е. О. ....	10		
Кладов В. А. ....	26	Muliukov A. R. ....	31

## Содержание

### РАДИОФИЗИКА И УСКОРИТЕЛИ

Байструков М. А. ....	5
Волкова М. А. ....	6
Гришина К. А. ....	7
Дронова Е. В. ....	8
Задоев А. Ю. ....	9
Ким Е. О., Буцыкина М. Д. ....	10
Кладов С. А. ....	11
Колесникова А. Ю. ....	12
Купуржанов А. В. ....	13
Лялин М. А. ....	14
Стяжкин Р. А. ....	15
Требушинин А. Е., Веремчук М. Э. ....	16

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Александров Е. А. ....	17
Андреев А. А. ....	18
Белозерова М. С. ....	19
Василенко Р. А., Жабин О. С. ....	20
Глушак А. А. ....	21
Дроботун В. А. ....	22
Захаров Е. И. ....	23
Зубакин А. С. ....	24
Каня К. О. ....	25
Кладов В. А. ....	26
Литвинцева М. А. ....	27
Брюханов И. Д., Локтюшин О. Ю. ....	28
Майборода В. А. ....	29
Митрохин А. А. ....	30
Muliukov A. R. ....	31
Нехорошева Е. Г. ....	32
Пещенюк А. В. ....	33
Полуйко Е. Ю. ....	34
Семенов Д. О. ....	35
Чижик Г. С., Кладов В. А. ....	36
Щегольков Н. С. ....	37
Яковлев Д. Д. ....	38
Указатель авторов. ....	39

Научное издание

МНСК-2020

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ  
И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Материалы  
58-й Международной научной студенческой конференции

10–13 апреля 2020 г.

Корректор *Д. М. Валова*  
Верстка *А. С. Терешкиной*  
Обложка *Е. В. Неклюдовой*

Подписано в печать 05.04.2020 г.  
Формат 60 × 84/16. Уч.-изд. л. 2,6. Усл. печ. л. 2,4.  
Тираж 100 экз. Заказ № 62.  
Издательско-полиграфический центр НГУ  
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2



Секция

# ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

ISBN 978-5-4437-1046-4



9 785443 710464

**N\*** Новосибирский  
государственный  
университет  
**\*НАСТОЯЩАЯ НАУКА**

