

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ПРАВИТЕЛЬСТВО НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ  
КОМИССИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ЮНЕСКО  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МАТЕРИАЛЫ  
50-Й ЮБИЛЕЙНОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**«Студент и научно-технический прогресс»**

**13–19 апреля 2012 г.**

**КВАНТОВАЯ ФИЗИКА**

**Новосибирск  
2012**

УДК 53  
ББК 22.3

Материалы 50-й Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Квантовая физика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2012. 37 с.

ISBN 978-5-4437-0042-7

Конференция проводится при поддержке Президиума Сибирского отделения Российской Академии наук, Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-04-06805-моб\_г), Правительства Новосибирской области, Комиссии РФ по делам ЮНЕСКО, Технопарка Новосибирского Академгородка.

Конференция проведена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 - 2013 годы.

Научный руководитель секции –  
чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, проф. А. Е. Бондарь  
Председатель секции – д-р физ.-мат. наук, проф. А. В. Тайченачев  
Ответственный секретарь секции – В. С. Воробьёв

#### **Экспертный совет секции:**

д-р физ.-мат. наук, доцент В. Е. Блинов  
д-р физ.-мат. наук, проф. Л. Н. Мазалов  
д-р физ.-мат. наук, проф. П. Л. Чаповский  
д-р физ.-мат. наук, доцент И. И. Рябцев  
канд. физ.-мат. наук, доцент В. А. Володин

© Новосибирский государственный  
университет, 2012

ISBN 978-5-4437-0042-7

**RUSSIAN FEDERAL MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE  
SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
NOVOSIBIRSK REGION GOVERNMENT  
COMMISSION OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR UNESCO  
NOVOSIBIRSK NATIONAL RESEARCH STATE UNIVERSITY**

**PROCEEDINGS  
OF THE 50th INTERNATIONAL STUDENTS  
SCIENTIFIC CONFERENCE**

**«STUDENTS AND PROGRESS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY»**

**April, 13–19, 2012**

**QUANTUM PHYSICS**

**Novosibirsk, Russian Federation  
2012**

Proceedings of the 50<sup>th</sup> International Students Scientific Conference  
«*Students and Progress in Science and Technology*». Quantum physics /  
Novosibirsk State University. Novosibirsk, Russian Federation. 2012. 37 pp.  
ISBN 978-5-4437-0042-7

The conference is held with the significant support of Presidium of the  
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Russian Foundation for Basic  
Research (project № 12-04-06805-моб\_г), Novosibirsk Region Government,  
Commission of the Russian Federation for UNESCO, Technopark of  
Novosibirsk Academgorodok.

The conference is held with financial support of Russian Federal Ministry of  
Education and Science under the federal target program "Scientific and  
scientific-pedagogical personnel of innovative Russia" in 2009-2013.

Section scientific supervisor – Corr. Member RAS, Prof. A. E. Bondar  
Section head – Dr. Phys. Math, Prof. A. V. Taichenachev  
Responsible secretary – V. S. Vorobyev

**Section scientific committee:**

Dr. Phys. Math, Assoc. Prof. V. E. Blinov  
Dr. Phys. Math, Prof. L. N. Mazalov  
Dr. Phys. Math, Prof. P. L. Chapovsky  
Dr. Phys. Math, Assoc. Prof. I. I. Ryabtsev  
Cand. Phys. Math, Assoc. Prof. V. A. Volodin

# КВАНТОВАЯ ОПТИКА И ФИЗИКА ЛАЗЕРОВ

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОРМЫ ОДИНОЧНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ В ДУГОВЫХ АТОМНО-ЭМИССИОННЫХ СПЕКТРАХ

П. В. Ващенко

Институт автоматики и электрометрии СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в области оптического спектрального анализа в качестве многоэлементных твердотельных детекторов излучения широкое распространение получили линейки фотодиодов. Такие детекторы позволяют регистрировать атомно-эмиссионные спектры в реальном времени во всём рабочем диапазоне длин волн. Но, согласно теореме Котельникова, теряется информация о пространственных частотах спектра со значениями выше, чем  $1/2d$ , где  $d$  – шаг структуры линейки фотодиодов. То есть при регистрации появляется зависимость выходного сигнала с линейки фотодиодов от положения спектральной линии относительно фотодиодов линейки. Это затрудняет как идентификацию одиночных, так и разделение слившихся спектральных линий.

Целью работы является восстановление формы спектральной линии по найденным одиночным линиям в спектре. Это возможно при использовании дуговых источников возбуждения так, как ширина спектральной линии в данном случае определяется аппаратной функцией спектрального прибора.

Форма одиночной спектральной линии (Рис. 1) позволит: снизить погрешность в количественном анализе при измерении интенсивности аналитической линии на фоне мешающей, улучшить качественный анализ путем снижения погрешности профилирования.

Результативность данного метода восстановления формы одиночной спектральной линии проверена на примере автопрофилирования анализатора МАЭС. Удалось снизить ошибку профилирования до 0.1 диода, что вдвое меньше, чем в программном обеспечении «Атом».

Научный руководитель – д-р техн. наук В. А. Лабусов.

# ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК ХРОМОФОР-СОДЕРЖАЩИХ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИИМЕРОВ

А. И. Горковенко

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

В последнее десятилетие хромофор-содержащие полимеры привлекают особое внимание с точки зрения применения в электрооптических устройствах. Поляризованные во внешнем электрическом поле пленки хромофор-содержащих полимеров демонстрируют более высокие, чем в традиционных кристаллических структурах, величины квадратичной нелинейности – достигнуты рекордные величины макроскопических электрооптических коэффициентов до 1000 пм/В, при полувольтном напряжении порядка 0.3 В. Также, немаловажным является возможность варьирования в широком диапазоне молекулярной структуры данных соединений для повышения их температурно-временной стабильности.

Несмотря на большой интерес к данным структурам, на данный момент в литературе достаточно мало работ по комплексному изучению их нелинейно-оптического отклика.

Данная работа была посвящена изучению дисперсии квадратичной и кубической нелинейно-оптической восприимчивости поляризованных пленок новых синтезированных хромофор-содержащих полиимидов с включением коммерческих хромофоров DR-1 и DR-13. Все образцы имели пики поглощения в области 490-520 нм.

Для исследованных пленок методом спектральной эллипсометрии были получены дисперсии коэффициентов экстинкции и показателей преломления в диапазоне от 400 до 800 нм.

Исследование квадратичной нелинейной восприимчивости осуществлялось с помощью метода Мейкеровских биений при возбуждении излучением параметрического генератора света “Solar” с длительностью импульсов 10 нс. Фундаментальная длина волны изменялась в диапазоне от 800 до 1500 нм.

Для изучения кубической нелинейной восприимчивости применялся метод продольного сканирования при изменении длины волны от 420 до 590 нм.

В ходе работы получены кривые дисперсии квадратичных нелинейных коэффициентов  $d_{33}$  новых хромофор-содержащих полиимидов. Максимальные значения коэффициентов составили 30-50 пм/В, что является рекордным для термически стабильных хромофор-содержащих полиимидов. Значения мнимой части кубической нелинейной восприимчивости, полученные в максимумах пиков нелинейного поглощения, составили величины  $1-3.1 \cdot 10^{-6}$  СГС. Все образцы обладают высокой радиационной стойкостью - нелинейные свойства не менялись при облучении  $10^4$  импульсами интенсивностью  $\sim 50$  МВт/см<sup>2</sup>.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А. И. Плеханов.

# РАСЧЕТ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО СПЕКТРА МОЛЕКУЛЫ СУЛЬФИДА ВОДОРОДА

О. В. Егоров

Томский государственный университет

Знание спектра молекулы сульфида водорода необходимо для обнаружения и контроля концентрации данного газа в атмосфере. Источниками сульфида водорода в атмосфере могут быть продукты переработки нефти, природного газа, углей, выбросы металлургических заводов, факелы двигателей, вулканы и пожары. Спектр данной молекулы имеет ряд характерных особенностей, которые не наблюдаются у других молекул типа асимметричного волчка и представляют большой интерес для их научного исследования.

В работе на основании новых данных по параметрам эффективного колебательного гамильтониана [1] и компонентам разложения функции дипольного момента по нормальным координатам [2], произведен расчет центров полос и интегральных интенсивностей молекулы сульфида водорода с учетом резонансов Ферми и Дарлинг-Деннисона. Из представленных в [2] наборов параметров функции дипольного момента выбран дающий при расчетах наилучшее согласие с экспериментом. В силу аналогичного строения молекул воды и сульфида водорода расчет производился с помощью программного комплекса [3], адаптированного

под молекулу  $\text{H}_2\text{S}$ .

1. О. В. Науменко, Е. Р. Полоттсева. Vibrational spectrum of the  $\text{H}_2\text{S}$  molecule // Atmos. Oceanic Opt. 2004. Т. 17. №11.
2. О. Н. Сулакшина, Ю. Г. Борков, Вл. Г. Тютюрев. Расчет параметров функции дипольного момента для молекулы  $\text{H}_2\text{S}$  // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т. 14. № 9.
3. О. К. Войцеховская, Ю. С. Макушкин, Н. Н. Трифонова, В. Н. Черепанов. Программа расчета центров и интенсивностей колебательно-вращательных линий молекул типа асимметричного волчка. ГОСФАП. 1980. № П004348. 33 с.

Научный руководитель – д-р. физ.-мат. наук, проф. О. К. Войцеховская.

## ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ РЕШЕТОК В ПЛАНАРНОМ ВОЛНОВОДЕ НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ ПРИ ОДНОПУЧКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

М. С. Иванов, А. О. Маркин, А. Б. Мухтубаев, В. Ю. Рябченко  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Целью проведённых экспериментов явилось исследование явления однопучкового формирования фоторефрактивных решёток в планарном волноводе, полученном в ниобате лития путём диффузии титана и железа.

Оптический волновод создан в подложке экспериментальной установки для исследования планарного волновода и схема ввода света в волновод представлены на рисунке, где 1 – YAG:Nd<sup>3+</sup> лазер; 2 – теодолит; 3 – исследуемый образец; 4 – фотодиоды (ФД-24К).

В световом поле после волновода в течение некоторого времени экспозиции одиночным световым пучком ( $\lambda = 0,532$  мкм) с поляризацией, соответствующей необыкновенной волне, наблюдались лишь отраженные от его поверхности под разными углами необыкновенный и обыкновенный лучи, а также  $m$ -линия, указывающая на возбуждение в волноводе вытекающих ТЕ мод вследствие эффекта рассеяния света на дефектах поверхности.

Через 5 - 10 мин на  $m$ -линии выделялись два ярких пятна, расположенных примерно симметрично относительно плоскости падения входного луча, что свидетельствует о наведении фоторефрактивной решетки. Угол между соответствующими им пучками вне кристалла составлял  $\approx 35^\circ$ , а их поляризация соответствовала обыкновенной волне в подложке. В то же время наблюдалась локализация максимумов излучения с торца волновода. Наблюдаемый эффект объясняется четырехволновым параметрическим взаимодействием необыкновенной излучательной моды подложки с вытекающими ТЕ модами, присутствующими в волноводе вследствие рассеяния света.

Таким образом, эксперименты продемонстрировали возможность однопучкового формирования фоторефрактивных решеток с периодами, определяемыми углом падения света на поверхность, в планарных волноводах с вытеканием света на основе ниобата лития, что может использоваться для волноводно-оптических дифракционных элементов.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. М. Шандаров.

# СОСТОЯНИЕ АТОМОВ В МОНОХРОМАТИЧЕСКОМ ОПТИЧЕСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТОВ ОТДАЧИ

Р. Я. Ильенков

Институт лазерной физики СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Холодные атомы применяются во многих областях современной физики, они используются в атомной спектроскопии, стандартах частоты нового поколения, экспериментах с конденсатом Бозе - Эйнштейна. Именно поэтому лазерное охлаждение нейтральных атомов – одно из приоритетных направлений развития атомной и лазерной физики.

Однако, теоретическое описание кинетики нейтральных атомов в поляризованных световых полях с учетом всех атомных уровней, когерентностей, эффекта отдачи, представляет собой сложную задачу. Изначально, для качественного описания кинетических эффектов был развит квазиклассический подход [1], который заключается в том, что уравнения для матрицы плотности сводятся к уравнению типа Фоккера-Планка для вигнеровской функции в фазовом пространстве. Однако, данный подход налагает ограничение на параметр отдачи по сравнению со скоростью спонтанного распада, кроме того, импульс одного фотона светового поля должен быть значительно меньше ширины импульсного распределения атомов. Позже были развиты квантовые методы [2-3], но и они имели свои недостатки, как например, секулярное приближение описывающее охлаждение и локализацию атомов в оптическом потенциале, не применимо для атомов совершающих надбарьерное движение.

Был развит [4] альтернативный квантовый метод, позволяющий найти стационарное решение для матрицы плотности атомов с вырожденными по проекции углового момента уровнями в световом поле, образованном встречными волнами произвольной интенсивности и поляризации. Метод полностью учитывает поступательное движение атомов и эффекты отдачи

1. A. P. Kazantsev, G. I. Surdutovich, and V. P. Yakovlev, *Mechanical Action of Light on Atoms*, World Sci., Singapore (1990).
2. A. Aspect, E. Arimondo, R. Kaiser, N. Vansteenkiste, and C. Cohen-Tannoudji, *Phys. Rev. Lett.* 61, 826 (1988).
3. S. M. Yoo and J. Javanainen, *J. Opt. Soc. Amer.* B 8, 1341 (1991).
4. О.Н. Прудников, Р. Я. Ильенков, А.В. Тайченачев, А.М. Тумайкин, В.И. Юдин, *Стационарное состояние ансамбля атомов малой плотности в монохроматическом поле с учетом эффектов отдачи*, ЖЭТФ, 2011, том 139, вып. 6, стр. 1074-1080

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. Юдин.

## ЗАПИСЬ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГОЛОГРАММ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Т. Н. Иргалин, Ю. Ю. Чопорова  
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Методы классической голографии и интерферометрии широко используются в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах. В последние годы с появлением источников и приемников терагерцового излучения началось освоение этого диапазона. Основные успехи в этой области достигнуты при использовании широкополосных источников на основе фемтосекундных лазеров. Вследствие специфики этих источников, - короткой длительности импульса и крайне малой мощности, - до настоящего времени в терагерцовом диапазоне использовались голографические методы, существенно отличающиеся от классических. Благодаря запуску в Новосибирске мощного терагерцового лазера на свободных электронах (ЛСЭ) [1], генерирующего когерентное монохроматическое излучение, и разработке методов визуализации этого излучения появилась возможность реализовать в этом диапазоне схемы голографии и томографии в их классическом варианте. В данной работе реализованы классические схемы голографии в терагерцовом диапазоне.

Голограммы были записаны в двух классических оптических схемах: схеме Габоора [2] и схеме с опорным пучком. Для реализации последней схемы был создан адаптированный к терагерцовому диапазону интерферометра Маха-Цендера. Ключевой проблемой при записи голограмм в ТГц диапазоне был выбор приемника излучения. Для записи голограмм в качестве визуализатора был использован термочувствительный люминесцентный экран. Свечение люминофора в оранжевой области спектра регистрировалось с помощью ПЗС камеры с микроканальным усилителем. Были записаны голограммы различных амплитудных, фазовых и амплитудно-фазовых объектов. Голограммы восстанавливались численно путем расчета интеграла Френеля-Кирхгофа в плоскости изображения. Было достигнуто пространственное разрешение в восстановленных изображениях 0.4 мм при длине волны 0.13 мкм.

---

1. В А Knyazev, G N Kulipanov, N A Vinokurov. *Measurement Science and Technology*, 2010

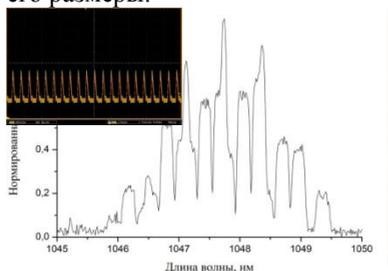
2. Ю.Ю. Чопорова, Т.Н. Иргалин, Б.А. Князев, и др. *Известия ВУЗов. Радиофизика*. Т.54 2011.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Б. А. Князев.

# ПИКОСЕКУНДНЫЙ $\text{Yb}^{3+}:\text{KY}(\text{WO}_4)_2$ ЛАЗЕР С НАСЫЩАЮЩИМСЯ ПОГЛОТИТЕЛЕМ НА ВЫХОДНОМ ЗЕРКАЛЕ

П. Н. Косулин  
Новосибирский Государственный Университет

Импульсные лазеры с синхронизацией мод излучения, генерирующие ультракороткие пико- и фемто-секундные импульсы, представляют большой интерес для ряда применений, таких как передача информации, метрология и других. В последнее время широкое распространение получили импульсные лазеры, основанные на применении полупроводникового насыщающегося поглотителя для получения пассивной синхронизации мод. Основными преимуществами таких импульсных лазеров являются сверхкороткая длительность импульсов и частота следования порядка сотен МГц или единиц ГГц. Высокая частота следования может быть получена при уменьшении размеров резонатора, что также является преимуществом таких систем. Однако применение НП накладывает ряд ограничений на энергетические характеристики пучка и его размеры.



В данной работе продемонстрирована генерация сверхкоротких импульсов вблизи центральной длины волны 1040 нм в твёрдотельном лазере, работающем в режиме пассивной синхронизации мод с использованием полупроводникового насыщающегося поглотителя (НП), совмещённого с выходным зеркалом лазера. Глубина модуляции НП составляет  $\Delta R=0,6\%$ , коэффициент пропускания  $T=1,5\%$ . Средняя выходная мощность излучения составила 150 мВт при мощности излучения накачки 5,5 Вт. Частота следования импульсов составила 220 МГц, что соответствует длине резонатора 680 мм, длительность импульсов 2,5 пс. В качестве активной среды использовался кристалл  $\text{Yb}^{3+}:\text{KY}(\text{WO}_4)_2$  с размерами 2x3x5 мм.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. В. Кукарин.

## КОГЕРЕНТНОЕ СЛОЖЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ УСИЛЕННЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

В. Е. Лещенко

Институт лазерной физики СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время линейные одноканальные схемы построения мощных фемтосекундных лазерных установок достигли своего практического предела, и наиболее перспективным методом создания сверхмощных лазерных комплексов является когерентное сложение излучения ряда усилительных каналов. В ИЛФ СО РАН ведутся работы по созданию на основе параметрического усиления двухканальной мультитераваттной 10Гц фемтосекундной лазерной системы с когерентным сложением полей.

В работе определены требования на точность настройки оптической схемы и величины флуктуаций различных параметров складываемых импульсов (на фазовую нестабильность, флуктуации мощности, несовпадение центров и диаметров пучков, различие дисперсии в разных каналах и т.д.) для реализации высокоэффективного когерентного сложения. Показано, что наиболее критичными параметрами являются фазовая (джиттер) и угловая (beam pointing) нестабильности.

Разработана и экспериментально реализована система для измерения и стабилизации относительного джиттера двух последовательностей импульсов с аттосекундным разрешением. В процессе разработки предложен метод стабилизации разности фаз параметрически усиленных фемтосекундных импульсов с низкой частотой следования для их когерентного сложения. Метод основан на измерении и стабилизации разности фаз складываемых излучений по «быстрому» и «медленному» кольцам обратной связи. При этом стабилизация в области частот выше частоты следования импульсов реализуется с использованием неусиленной части фемтосекундного излучения, распространяющегося по тому же оптическому пути (и, следовательно, приобретающего те же возмущения), что и усиленная последовательность импульсов.

С использованием разработанной схемы стабилизации реализовано когерентное сложение двух последовательностей импульсов с длительностью  $\sim 10$  фс с энергией в импульсе 1-2 мДж.

На основе полученных экспериментальных данных определены перспективы использования предложенных методов стабилизации и когерентного сложения в фемтосекундных лазерных установках петаваттного и более высокого уровня мощностей.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. И. Трунов.

# ЧИСЛЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА В НАНОКАПЛЯХ МЕТАЛЛОВ III ГРУППЫ

А. А. Лямкина, С. П. Мощенко

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

Явление поверхностного плазмонного резонанса (ППР) широко используется для создания биосенсоров. В последнее время получил распространение подход, связанный с управлением с помощью ППР оптическими свойствами квантовых излучателей, таких как полупроводниковые квантовые точки (КТ). Взаимодействие экситонов в КТ с поверхностными плазмонами, локализованными в металлических частицах, может значительно повысить эффективность излучения КТ.

Наиболее распространенным методом является литографическое нанесение золотых полосок или кристаллов на структуры с КТ. Однако, несмотря на прецизионный контроль положения золотых частиц, из-за случайного расположения точек расстояние в паре частица – КТ может меняться. Кроме того, золото не совместимо с технологией молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), что существенно ограничивает возможности этого метода для создания более сложных структур.

Альтернативным подходом является получение металлических частиц в режиме самоорганизации. Таким способом является начальная стадия нанокapельной эпитаксии – формирование массива капель металла III группы на подложке. При этом распределение упругих напряжений приведёт к самосовмещению пары капля–КТ, и расстояние в паре будет определяться толщиной буферного слоя. Важным преимуществом такого подхода является совместимость создания капель с МЛЭ технологией.

Однако при переходе к такому методу возникает ряд вопросов: как изменится ППР при переходе от золота к металлу, доступному в МЛЭ установке; как положение резонанса зависит от формы и размера капли? Чтобы ответить на эти вопросы, мы провели численное исследование ППР в металлических нанокapлях, используя приближение дискретных диполей [1]. Геометрические параметры капель были получены в ходе нашей предыдущей работы об изучении начальной стадии нанокapельной эпитаксии [2]. Нами были изучены зависимости плазмонного резонанса в каплях от материала и размера. Показано, что капли, выращенные методом нанокapельной эпитаксии, могут быть эффективно использованы для создания гибридных структур типа плазмон-квантовая точка.

---

[1] B.T. Draine, P.J. Flatau, <http://arxiv.org/abs/1002.1505> (2010.)

[2] A.A. Lyamkina et al. *Nanoscale Res. Lett.*, 6, 42 (2011).

Научный руководитель – С. П. Мощенко.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

Н. А. Митина

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

Поверхностные плазмоны (ПП) в видимом и среднем инфракрасном диапазонах достаточно хорошо изучены. Они используются для исследования металлических поверхностей и диэлектрических пленок. В последнее время в ТГц диапазоне проводятся исследования ПП с помощью широкополосных источников методом *time-domain spectroscopy*, результаты которых противоречивы. В данной работе выполнены исследования ПП с помощью излучения Новосибирского лазера на свободных электронах (НЛСЭ). Лазер генерирует мощное монохроматическое излучение, перестраиваемое в диапазоне 120-240 мкм, и представляет собой последовательность 100-пс импульсов с частотой повторения 5.6 МГц. Использование данного источника требует разработки новых методов формирования и регистрации ПП.

Предыдущие эксперименты по генерации ПП на НЛСЭ показали, что рупорный метод, предложенный Гришковским и соавторами, является наиболее эффективным. Падающая объемная волна вводилась в плоскопараллельный волновод и на выходе из него за счет дифракции преобразовалась в ПП, распространяющийся вдоль плоской золотой поверхности. На его поверхность наносились слои диэлектрика ZnS толщиной 0.1-1 мкм. Для разделения объемной и поверхностной волны, образцы на одном из концов имели загиб клиновидной или цилиндрической формы.

Излучение регистрировалось с помощью двух детектирующих систем. Первая система, состоявшая из линзы и матричного микроболометрического приемника, позволяла снимать двумерные изображения профиля волны над поверхностью образца с разрешением 320x240. Во второй системе излучение регистрировалось с помощью оптико-акустической ячейки Голя и сверхпроводникового болометрического приемника, что позволило измерить диаграмму направленности волны, срывающейся с поверхности образца.

Приводятся результаты исследований поверхностного плазмона на золотых образцах с разной толщиной покрытия ZnS и формой загиба.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. Б. А. Князев, В. В. Герасимов.

# КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ АТОМНО-ЭМИССИОННЫХ СПЕКТРОВ

С. В. Панкратов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Атомно-эмиссионный спектральный анализ является одним из основных методов определения элементного состава веществ и материалов. Он основан на идентификации спектральных линий элементов (качественный анализ) и измерении их интенсивности (количественный анализ). При анализе сложных объектов, например, природных, первой задачей является проведение качественного анализа. Существующие методы такого анализа используют малую часть спектральных линий в спектре, так как они были разработаны для ручного использования. С другой стороны по корреляционной функции исследуемого спектра и линий элемента из базы данных спектральных линий атомов и ионов можно сделать вывод о присутствии этого элемента в пробе. Производительность современных компьютеров позволяет получить такие корреляционные функции для всех элементов таблицы Менделеева в реальном времени.

Целью работы является реализация и исследование применимости корреляционного метода качественного атомно-эмиссионного спектрального анализа элементного состава вещества.

На рис.1 показаны графики корреляционных функций для первых четырёх элементов в никелевой пробе, имеющих максимальное соотношение Сигнал/Шум (SNR). Видно, что при наличии элемента в пробе наблюдается ярко выраженный корреляционный пик. Тестирование показало, что алгоритм хорошо справляется с поиском элементов, у которых найдено в атомно-эмиссионном спектре более 10 спектральных линий. В работе использованы спектры, зарегистрированные анализаторами МАЭС. Алгоритм реализован в виде модуля «Корреляционный анализ» в программном обеспечении «Атом».

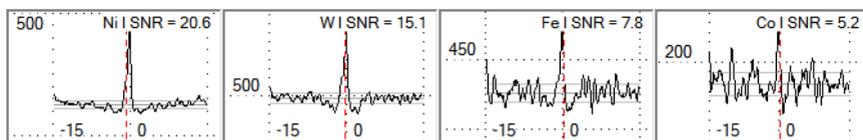


Рис. 1. Фрагмент основного окна программного модуля «Корреляционный анализ»

Научный руководитель – д-р техн. наук В. А. Лабузов.

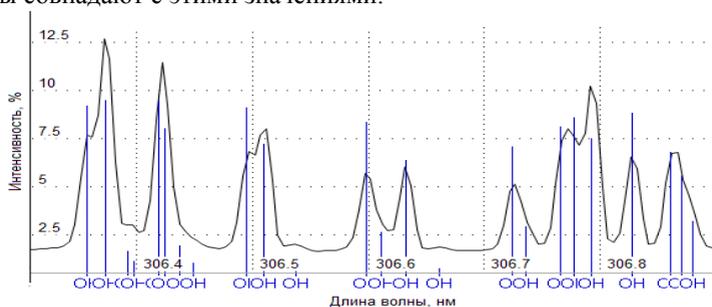
## МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПОЛОСЫ В ДУГОВОМ АТОМНО-ЭМИССИОННОМ СПЕКТРЕ

О. В. Пелипасов

Новосибирский государственный технический университет  
Институт автоматики и электрометрии СО РАН

В атомно-эмиссионных спектрах, возбуждаемых в воздухе электрической дугой при атмосферном давлении и зарегистрированных анализаторами МАЭС, были обнаружены полосы излучения двухатомных молекул. Значения длин волн спектральных линий молекулярных полос были найдены в различных информационных источниках и добавлены в базу данных спектральных линий программы «Атом».

В настоящее время база данных программы «Атом» содержит значения длин волн следующих двухатомных молекул  $AlO$ ,  $C_2$ ,  $CN$ ,  $CO$ ,  $CaF$ ,  $N_2$ ,  $N_2^+$ ,  $NH$ ,  $NO$ ,  $O_2$ ,  $OH$ ,  $CH$ . Для идентификации и использования спектральных линий молекулярных полос в атомно-эмиссионных спектрах погрешность значений их длин волн не должна превышать погрешности определения длин волн спектральных линий современным многоканальным спектрометром – 0.001 нм. На рисунке приведен фрагмент молекулярной полосы  $OH$  и значения длин волн спектральных линий из базы данных. Видно, что зарегистрированные спектральные линии молекулярной полосы совпадают с этими значениями.



База данных длин волн двухатомных молекул программы «Атом» уже используется для идентификации молекулярных полос в спектре и для проведения профилирования спектрометров с МАЭС [1].

a.i.l.a.i.l.

Пелипасов О.В., Лабусов В.А., Семёнов З.В. Идентификация молекулярных полос в атомно-эмиссионных спектрах, зарегистрированных анализаторами МАЭС // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78, № 1-II. С.44-49

Научный руководитель – д-р техн. наук В. А. Лабусов.

# СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДВОЕНИЯ ЧАСТОТЫ В КРИСТАЛЛЕ СО ВТОРЫМ ТИПОМ СИНХРОНИЗМА ДЛЯ ОДНОЧАСТОТНОГО И МНОГОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЙ

М. О. Политко

Институт автоматики и электрометрии СО РАН  
Новосибирский государственный университет

С появлением лазеров во второй половине прошлого века начинают проводиться исследования удвоения частоты в кристаллах различного типа. Возможность генерировать когерентное излучение с узким спектром позволяет получить высокую эффективность удвоения.

В 1964 году Ducuing и Bloembergen в статье [1] показали, что эффективность генерации второй гармоники зависит от модовой структуры света и наличия синхронизации между модами, а также то, что для независимых мод в случае первого типа синхронизма эффективность удвоения оказывается в два раза выше, чем для одночастотного излучения. Для второго типа синхронизма таких теоретических предсказаний не проводилось. Со временем развивались новые технологии удвоения частоты (например, внутриврезонаторная схема), в которых эффективность преобразования первой гармоники во вторую может достигать более 60 %, поэтому вопросу об увеличении эффективности для многочастотных лазеров по сравнению с одночастотными перестало уделяться внимание. С появлением эффективных волоконных (часто неполяризованных) лазеров возникла необходимость удвоения частоты излучения в однопроходной схеме с кристаллом со вторым типом синхронизма. И вопрос о двукратном увеличении эффективности вновь становится актуальным.

В данной работе проводится изучение удвоения частоты в кристалле со вторым типом синхронизма, но также исследуется и первый тип. Для этого был собран линейно поляризованный многочастотный иттербиевый лазер с длиной волны 1063.85 нм. Также в работе использовался одночастотный неодимовый лазер с длиной волны 1064.35 нм. Была собрана установка для генерации второй гармоники в кристаллах PPLN и КТР, в которых реализуется квазисинхронизм и второй тип синхронизма, соответственно. Также проводилось исследование спектра волоконного иттербиевого лазера с помощью интерферометра Фабри-Перо — для наблюдения высокой эффективности удвоения необходим довольно узкий спектр (меньше ширины синхронизма).

---

1. J. Ducuing and N. Bloembergen, *Statistical Fluctuations in Nonlinear Optical Processes* // Phys. Rev. 1964, Vol. 133, No. 6A, P. A1493-A1502.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. И. Каблуков

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗАДАЮЩЕГО ЛАЗЕРА ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ НА КЕРАМИКЕ, АКТИВИРОВАННОЙ ИОНАМИ $\text{Yb}^{3+}$ , С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

К. В. Поляков, А. В. Лаптев  
Институт лазерной физики СО РАН  
Новосибирский государственный университет

В настоящий момент активно развиваются мощные фемтосекундные лазерные системы с высокой частотой повторения импульсов. В ИЛФ СО РАН разрабатывается фемтосекундная лазерная система на керамиках, активированных ионами  $\text{Yb}^{3+}$ , работающих при криогенных температурах. На данном этапе работы одной из основных задач является оптимизация задающего генератора, в качестве активного элемента которого используется лазерная керамика  $\text{Yb}:\text{Y}_2\text{O}_3$ .

В данной работе рассмотрены и применены различные методы улучшения ключевых параметров задающего генератора разрабатываемой системы. Теоретически рассчитана и экспериментально измерена зависимость оптической силы тепловой линзы, возникающей при диодной накачке, от поглощенной мощности накачки. Для лазерной керамики  $\text{Yb}:\text{Y}_2\text{O}_3$  зависимость определена экспериментально, коэффициент пропорциональности составил 1,42 дптр/Вт. На основе полученных экспериментальных данных было оценено изменение оптической силы тепловой линзы при переходе в диапазон криогенных температур. Также для этой керамики были измерены спектры поглощения и излучения при комнатной и криогенной температурах, на основе этих данных был рассчитан спектр усиления.

Задающий генератор представлял собой 4-зеркальный х-образный резонатор с дополнительной фокусировкой на SESAM, накачка осуществлялась диодным лазером мощностью 9 Вт на длине волны 980 нм. Была получена синхронизация мод в непрерывном режиме с центральной длиной волны 1076 нм, длительность импульса по оценкам составила около 300 фс. Исследована новая разупорядоченная лазерная керамика состава  $[\text{Lu}_{0,24}\text{Y}_{0,75}\text{Yb}_{0,01}]_2\text{O}_3]_{0,88}[\text{ZrO}_2]_{0,12}$  для применения в качестве активного элемента системы. На этой керамике была получена генерация, дифференциальный КПД составил около 29%.

Результаты работы были использованы при создании тераваттной фемтосекундной лазерной системы, работающей с частотой повторения импульсов до 1кГц.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, В. В. Петров.

# **РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СТЕНДА ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИРОКОПОЛОСНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТГц ДИАПАЗОНА**

К. Д. Потешкина

Институт автоматики и электрометрии СО РАН  
Новосибирский государственный технический университет

Исследования в ТГц диапазоне спектра свойств различных полупроводниковых соединений, поглощения молекулярных газов с целью их идентификации, новых нелинейных сред для генерации и детектирования ТГц излучения представляют большую практическую ценность и сегодня активно развиваются.

В данной работе описывается экспериментальный стенд многоцелевого назначения для научных исследований с использованием широкополосного импульсного ТГц излучения. Основной его частью является титан-сапфировый лазер накачки, генерирующий в режиме синхронизации мод импульсы света длительностью 70 фс, длиной волны 780 нм, частотой следования 80 МГц (средняя мощность 200 мВт). Генерация ТГц излучения осуществляется за счет эффекта оптического выпрямления в различных материалах (ZnTe, полингованные полимерные пленки, p-InAs) или фотоэффекта Дембера (p-InAs). Детектирование производится стробоскопическим методом с использованием эффекта Погкельса в нелинейной среде (ZnTe, полингованные полимерные пленки) и части излучения лазера накачки как пробного. Оптическая схема установки должна обеспечивать равенство оптических путей в основном тракте (накачка нелинейной среды, ТГц излучение) и в тракте пробного пучка, для чего используются дополнительные поворотные зеркала. Разработанный дизайн оптической схемы обеспечивает работоспособность с минимальным количеством поворотных зеркал, позволяет снизить потери мощности и удешевить экспериментальную установку.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук С. Л. Микерин.

# **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МИНИМИЗАЦИИ СДВИГОВЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ АСФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

А. Г. Саинова, Р. К. Насыров  
Институт автоматики и электротриии СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Асферическая оптика является важной частью современных оптических систем. Использование асферических элементов позволяет значительно сократить количество элементов системы и соответственно габариты оптической установки, сохраняя при этом оптические характеристики. Для изготовления таких поверхностей необходимо использовать специальные методы контроля, чтобы обеспечить высокое качество их изготовления.

Один из методов контроля основан на использовании интерферометра Физо с дифракционным оптическим элементом (ДОЭ) в качестве корректора волнового фронта. Для контроля асферической поверхности необходимо формирование эталонного асферического волнового фронта, что достигается при помощи ДОЭ, который преобразует сферический волновой фронт в асферический. Смещение эталонной поверхности при помощи пьезокерамики вызывает изменение фазы между опорным и объектным волновыми фронтами. Получается несколько интерференционных картин, с разницей фазы 90 градусов, по которым с помощью компьютера вычисляется форма поверхности.

Такая схема измерений чувствительна к вибрациям, нестабильности частоты лазера, перемещениям фазосдвигающего устройства, перемещения объекта исследования и др. Эти ошибки приводят к сдвигу полос на интерферограмме. Для того чтобы улучшить качество измерений применяется алгоритм вычисления фазовой функции методом наименьших квадратов (МНК). Такой метод позволяет значительно уменьшить вклад таких сдвиговых ошибок. В работе приведен анализ оптической схемы интерферометра, проведен анализ собственных ошибок интерферометра и предложены подходы для улучшения алгоритма на основе МНК.

Научный руководитель – канд. техн. наук Р. К. Насыров.

# ВОЛОКОННЫЙ ОТРАЖАТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР С ИЗМЕНЯЕМЫМ ПРОФИЛЕМ АППАРАТНОЙ ФУНКЦИИ

В. А. Симонов

Институт автоматики и электротехники СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Многолучевые двухзеркальные интерферометры, такие как интерферометр Фабри-Перо, Жорже-Турнуа, Физо) стали важным инструментом в оптике и нашли применение во многих приложениях, таких как спектроскопия, селекция мод и фильтрация излучения и других. Самым простым и распространенным, по видимому, является интерферометр Фабри-Перо (ИФП), который также имеет несколько волоконных исполнений: на основе многослойных отражателей, с использованием металлических зеркал или волоконных брэгговских решеток (ВБР).

Одним из вариантов многолучевого двухзеркального интерферометра является отражательный интерферометр (ОИ) с «необращенной» (узкие светлые полосы на темном фоне) аппаратной функцией (АФ) в отражении. Такой эффект достигается за счет внесения поглотителя в переднее зеркало, что приводит к различию коэффициентов отражения в направлении источника света и в направлении интерферометра [1-2]. Волоконно-интегрированный вариант отражательного интерферометра показал возможность использования такого типа приборов для селекции мод и перестройки волоконного эрбиевого лазера [3].

Вариация параметров переднего зеркала такого ОИ позволяет получать различные АФ (симметричную, асимметричную, «обращенную»). Целью данной работы является разработка полностью волоконного ОИ и расчет параметров зеркал интерферометра для получения заданной АФ.

В качестве разработки методов практического использования, рассматривается вариант применения волоконного ОИ для селекции мод и перестройки волоконного лазера, а также в качестве наклонных фильтров для систем опроса ВБР-датчиков с временным разделением каналов.

1. В. С. Терентьев, «Многолучевые интерферометры в отраженном свете с “необращенной” аппаратной функцией», *Автометрия*, 2009, т. 45, № 6, с. 89-98.
2. Ю. В. Троицкий, «Многолучевые интерферометры отраженного света», Новосибирск, Наука, 1985.
3. В.С.Терентьев, В.А.Симонов. «О частотной селекции излучения волоконного лазера с отражательным интерферометром». *Автометрия*, 2011, т.47, №4, с. 41-48.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. С. Терентьев.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МОЩНЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ПРОЗРАЧНЫХ СРЕДАХ

С. В. Сонина

Новосибирский государственный университет

Мощные фемтосекундные лазерные импульсы, сфокусированные внутри прозрачного материала, имеют большие перспективы для микрообработки материалов и создания оптических приборов. Так как небольшие вариации параметров лазерного излучения ведут к значительным изменениям картины взаимодействия лазерного излучения с веществом, возникает потребность в исчерпывающей информации об этом взаимодействии, которую можно частично удовлетворить с помощью численного моделирования.

В настоящей работе для описания взаимодействия лазерного импульса с веществом используется модель нелинейного уравнения Шредингера, в котором учитываются дифракция, дисперсия групповой скорости, эффект Керра, поглощение плазмой и дефокусировка, многофотонное поглощение. Уравнение Шредингера дополнено уравнением для плотности свободных электронов, учитывающим фотоионизацию, лавинную ионизацию и захват свободных электронов. Дифференциальные уравнения решены с использованием явной конечно-разностной схемы. Были произведены методические расчеты, которые позволили выбрать оптимальные шаги конечно-разностной сетки и размеры расчетной области.

В результате расчетов получены картины распределения интенсивности лазерного излучения, плотности свободных электронов и энерговклада для разных параметров импульса: энергия импульса  $E_{in}$  изменялась от 0.25 до 2.5 мкДж, длительность – от 80 до 160 фс. Показано, что в области фокуса происходит поглощение энергии и формирование электронной плазмы плотности порядка  $10^{20} \text{ см}^{-3}$ , определяющие изменение оптических свойств среды. При этом максимальные значения плотности плазмы и интенсивности импульса слабо зависят от  $E_{in}$ . В то же время пространственная область больших значений плотности плазмы и энерговклада растёт с увеличением энергии импульса.

Выполнено сравнение с аналогичными результатами, полученными с помощью модели, основанной на уравнениях Максвелла. Показано, что результаты вполне сопоставимы, несмотря на существующие отличия. Это имеет большое значение, так как метод Шредингера более экономичен и прост в реализации.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В. П. Жуков.

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ ПОЛЕВОГО СДВИГА РЕЗОНАНСОВ РАМСИ НА СИЛЬНО ЗАПРЕЩЕННЫХ ПЕРЕХОДАХ

К. С. Табатчикова

Институт лазерной физики СО РАН

Новосибирский государственный технический университет

Разработка оптических стандартов частоты является одним из наиболее значимых направлений современной физики. Применение схемы Рамси в оптических стандартах частоты позволяет получить наиболее узкие резонансы и соответственно повысить метрологические характеристики этих стандартов. Использование оптических решеток, образованных пересекающимися лучами высокостабильных лазеров, для захвата охлажденных нейтральных атомов позволяет совместить достоинства стандартов частоты на нейтральных атомах и стандартов частоты на отдельных ионах, то есть снизить влияние эффекта отдачи и получить достаточно высокое отношение сигнал/шум [1].

В настоящий момент исследования стандартов частоты на охлажденных и захваченных атомах ведутся во многих лабораториях в различных странах мира США (NIST), Германии (PTB), Франции (SYRTE), Великобритании (NPL), России (ИЛФ СО РАН) и др.

В данной работе был выполнен теоретический анализ модифицированной схемы спектроскопии Рамси, предложенной в работе [2], с учетом конечной ширины лазерного излучения и спонтанной релаксации атомных уровней. Предложен метод повышения эффективности подавления частотного сдвига спектроскопического сигнала обусловленного полевым сдвигом частоты перехода. Повышение эффективности подавления сдвига частоты можно добиться, если один из импульсов будет композитным (т.е. импульс с переменной фазой). Путем численного решения кинетического уравнения для элементов матрицы плотности были выбраны параметры композитного импульса, при которых достигается наименьшая чувствительность положения центра резонанса к сдвигу частоты перехода во время действия импульса.

Данная работа выполнена в рамках совместных программ исследований ИЛФ СО РАН и PTB (Германия).

- 
1. Риле Ф. Стандарты частоты. Принципы и приложения / Пер. с англ. – М.: Физматлит, 2009.
  2. Yudin V. I. et al., Phys. Rev. A 82, 011804(R) (2010).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. Юдин.

# РЕЗОНАНСНОЕ ДИПОЛЬ-ДИПОЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ДИПОЛЬНАЯ БЛОКАДА В АНСАМБЛЯХ ХОЛОДНЫХ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ РУБИДИЯ

Е. А. Якшина

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Дипольная блокада представляет интерес для фундаментальной физики и может быть использована в ряде приложений, таких как получение перепутанных состояний, реализация квантовых логических операций или загрузка одиночных атомов в оптическую решетку.

Впервые эффект дипольной блокады был рассмотрен в работе [1]. Если в ансамбле холодных атомов один из них возбудить в ридберговское состояние, то возбуждение остальных в то же состояние будет подавлено. Это связано с тем, что диполь-дипольное взаимодействие сдвигает уровни энергии коллективных состояний в ансамбле атомов и выводит их из резонанса с возбуждающим излучением.

Подготовка экспериментов для наблюдения дипольной блокады состояла из двух задач:

## **1. Определение оптимальных условий для наблюдения.**

Для этого была построена теоретическая модель, основанная на решении уравнения Шрёдингера для амплитуд вероятности, с учётом всех бинарных взаимодействий в ансамбле. Определены характерные размеры области лазерного возбуждения для наблюдения дипольной блокады и их зависимость от главного квантового числа. Также проведено теоретическое сравнение нескольких методов регистрации и найден оптимальный для конкретных параметров экспериментальной установки.

## **2. Оптимизация параметров экспериментальной установки.**

Для увеличения контраста спектров резонансного диполь-дипольного взаимодействия и реализации дипольной блокады было решено перейти на новую схему возбуждения с использованием узкополосного непрерывного лазера Ti:Sapphire. Измеренный дрейф частоты лазера составил 5 МГц в минуту, что потребовало создания для него системы стабилизации частоты. Помимо этого была оптимизирована система лазерного возбуждения ридберговских атомов и определены предельные размеры области возбуждения, которые могут быть достигнуты при жёсткой фокусировке лазерного излучения в геометрии скрещенных пучков.

Проведены пробные эксперименты по лазерной спектроскопии ридберговских состояний с новой схемой возбуждения.

---

1. D. Jaksch et al., Phys.Rev.Lett. **85** (2000) 2208

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. И. Бетеров.

# ФИЗИКА ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

## ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ $^{12}\text{C}$ НА ЯДРАХ $^{12}\text{C}$ И $^{16}\text{O}$

Н. Амангельди, Н. У. Эшбеков, А. О. Любутин, Б. Мауей, А. А. Темербаев  
Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана

Одной из основных проблем современной ядерной физики является определение характеристик ядро-ядерного взаимодействия. Знание природы формирования и параметров межъядерного потенциала взаимодействия необходимы для расчета сечений всевозможных ядерных реакций и структурных характеристик сталкивающихся ядерных систем. При энергии в диапазоне 0,4-1,75 МэВ/нуклон взаимодействие сравнительно легких ядер, таких как углерод и кислород, будет происходить вблизи или ниже кулоновского барьера. Кулоновское отталкивание препятствует глубокому перекрыванию сталкивающихся ядер и взаимодействие носит, в основном, поверхностный характер и определяется поведением межъядерного потенциала на расстояниях порядка суммы радиусов сталкивающихся систем.

В данной работе ускорялся углерод и рассеивался на углероде и кислороде при энергии 18-21 МэВ. Во время анализа рассматривались известные зарубежные литературные данные по упругому рассеянию в широком диапазоне энергий. Были обработаны спектры упругого рассеяния в программе Maestro-32 для системы  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  и  $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$ .

Получены дифференциальные сечения упругого рассеяния ионов углерода на ядрах  $^{12}\text{C}$  и  $^{16}\text{O}$ .

Определены параметры оптических потенциалов в рамках оптической модели ядра и методом связанных каналов по программе ESIS-88.

- 
1. Hodgson P.E. The Nuclear optical Model // Rep. Prog. Phys, 34, 1971, pp.765-819.
  2. N. Burtebayev, Sh. Hamada, N. Amangeldy, A. Amar, S. K. Sakhiev. "Investigation of  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  reaction in a wide energy range". Journal of Eurasia National University (ИНУ) Astana, Kazakhstan No\_6 (79) 2010, p131-135.
  3. Analysis of alpha-cluster transfer in  $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$  and  $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$  at energies near Coulomb barrier., Sh. Hamada, N. Burtebayev, K.A. Gridnev, N. Amangeldi., Nuclear Physics A 859 (2011) 29-38.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Н. Т. Буртебаев.

## ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СИСТЕМЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАГНИТОВ

М. А. Анিকেев

Новосибирский государственный университет

Недавно В. Г. Сербо, основываясь на квантовой теории поля, создал методику расчета рассеяния «закрученных фотонов» («twisted photons») на электронах высокой энергии и предложил получать закрученные фотоны с высокой энергией на коллайдерах [1,2,3]. Статья вызвала интерес в научном сообществе и была опубликована в престижном журнале *Physical Review Letters* [3], а один из рисунков этой статьи был помещен на обложку журнала.

«Закрученными фотонами» называются состояния электромагнитного поля с определенной проекцией орбитального углового момента  $m$  на направление движения поля. Такие состояния распространяются в пустом пространстве без дисперсии, так как являются собственными функциями волнового уравнения в цилиндрической системе координат и их можно отождествить с отдельными фотонами.

Новизна проведенных исследований заключается в том, что в данной работе для создания электромагнитного поля из закрученных фотонов использовалась система вращающихся магнитов. Конкретной целью данной работы было измерение пространственного распределения магнитного поля от системы вращающихся магнитов.

В ходе работы были получены следующие основные результаты, которые будут представлены в докладе:

- Создана установка изменения магнитного поля системы вращающихся магнитов в области низких (до 1 кГц) частот. Для моделирования закрученных фотонов использовалась система из 40 вращающихся магнитов.
- Проведены измерения трех компонент магнитного поля от времени вблизи вращающейся системы магнитов.
- Проведен Фурье-анализ полученных данных.
- Построены зависимости амплитуд выделенных гармоник спектра от расстояния до оси вращения.

- 
2. 1. *U. D. Jentschura and V. G. Serbo*, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 013001 (2011)
  3. *U. D. Jentschura and V. G. Serbo*, *Eur. Phys. J.* **C71**, 1571 (2011).
  4. *I. Ivanov, V. Serbo*, *Phys. Rev. A*, **84**:3 (2011).

Научный руководитель – А. Г. Харламов.

# ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ В ПАРУ ПРОТОН-АНТИПРОТОН НА ДЕТЕКТОРЕ КМД-3

Е. М. Громов

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

В настоящее время в институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН ведутся эксперименты на установке со встречными электрон-позитронными пучками ВЭПП-2000 [1]. Использование методики «круглых» пучков позволило увеличить светимость коллайдера в 10 — 100 раз по сравнению с предыдущей установкой ВЭПП-2М и, кроме того, расширить диапазон энергий до 2 ГэВ в системе центра масс.

Универсальный детектор КМД-3, использующийся в эксперименте, обладает как высокой эффективностью регистрации многочастичных событий, так и высокими энергетическими и угловыми разрешениями для фотонов и заряженных частиц.

Одной из приоритетных задач детектора КМД-3 является изучение нуклонных формфакторов вблизи порога рождения, что позволило бы ответить на многие вопросы, в частности, с чем связан скачок в сечении рождения  $\pi$  пионов при пересечении порога рождения нуклон-antinуклонной пары.

В течении первого экспериментального сезона детектор КМД-3 набрал статистику в 6 точках по энергии выше порога рождения пары нуклон-antinуклон с суммарной светимостью 3000  $1/\text{нб}$ , что уже сравнимо со статистикой предыдущих исследований на детекторе BABAR.

В данной работе описана методика анализа данного процесса на детекторе КМД-3 и предварительные результаты измерений.

---

a.i.1. Yu. M. Shatunov et al., Project of a new electron-positron collider VEPP-2000. Proc. Of EPAC-2000, Vienna, p. 439.

a.i.2. G. V. Fedotovich [CMD-3 Collaboration], CMD-3 Detector For VEPP-2000. Nucl. Phys. Proc. Suppl. 162 (2006) 332.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Б. И. Хазин.

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ С ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ГЭУ В СОСТАВЕ СРРЭ ЭКСПЕРИМЕНТА КЕДР

М. В. Ивко

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

СРРЭ предназначена для изучения двухфотонных взаимодействий электрона и позитрона в эксперименте «КЕДР». Электроны и позитроны излучают виртуальные фотоны, кинематика взаимодействия которых определяется по конечным состояниям электрона и позитрона, называемых рассеянными электронами. СРРЭ предназначена для детектирования обоих РЭ, с целью определения параметров  $\gamma^*\gamma^*$  системы.

Измерив поперечную координату рассеявшейся частицы в плоскости орбиты, можно однозначно определить её энергию, не зная угла рассеяния. Первоначально для этой цели использовались детекторы на основе дрейфовых трубок. Впоследствии СРРЭ была дополнена детекторами на основе газовых электронных умножителей. Они обладают лучшим пространственным разрешением и позволяют измерять координату частицы в направлении, перпендикулярном плоскости орбиты, что даёт возможность подавлять фон от однократного тормозного излучения.

Настоящая работа описывает программные компоненты, предназначенные для анализа данных с детекторов на основе ГЭУ и работающие в составе более обширного пакета программного обеспечения СРРЭ. На космических частицах демонстрируется работа алгоритма поиска кластеров, приводятся оценки его точности.

- 
1. Аульченко, В. М. и др.: Препринт ИЯФ 91-45. Новосибирск, 1991.
  2. Aulchenko, V. M. et al.: Upgrade of the KEDR tagging system. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 494:241–245, 2002.
  3. Sauli, F.: GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 386:531–534, 1997.
  4. Aulchenko, V. M. et al.: Triple-GEM detectors for KEDR tagging system. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 598:112–115, 2009.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Л. И. Шехтман.

# ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕДИНИЧНОГО ЛЕПТОНА ПРИ ПОИСКЕ ЧАСТИЦ ТЁМНОЙ МАТЕРИИ НА ILC/CLIC – ИСТОЧНИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСС ЭТИХ ЧАСТИЦ

П. А. Крачков

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН  
Новосибирский государственный университет

Во многих моделях темная материя состоит из частиц похожих на частицы из стандартной модели. Стабильность этих частиц обеспечивается сохранением нового дискретного квантового числа, называемого ниже  $D$ -четностью. Все известные ныне частицы  $D$ -четны, тогда частицы темной материи  $D$ -нечетны. Мы рассматриваем модели, в которых помимо нейтральной  $D$ -нечетной частицы  $D$  с массой  $M_D$  существует еще и заряженные  $D$ -нечетные частицы  $D^\pm$  с массой  $M_\pm > M_D$  и, быть может, еще одна нейтральная  $D$ -нечетная частица  $D^A$  с массой  $M_A > M_D$ . В этих моделях  $D$ -частицы взаимодействуют с известными ныне частицами только через калибровочные  $W$  и  $Z$ - бозоны, фотон и бозон Хиггса.

Поиск таких кандидатов на роль частиц темной материи и других  $D$ -нечетных частиц и измерение их масс – важная проблема в ускорительной физике. На LHC трудно ожидать хорошей точности такого измерения. ILC/CLIC дает эту возможность для широкого класса моделей. Рассмотрено рождение таких частиц на линейном коллайдере ILC/ CLIC  $ee \text{ @ } ILC$ . Частицы  $D^\pm$  быстро распадаются на  $D$  и  $W^\pm$ , иногда на  $D$ ,  $W^\pm$  и  $Z$ . Наблюдению подлежат продукты распада  $W$  и  $Z$  – пары струй (ди-джеты)  $q\bar{q}$  или дилептоны  $\ell\nu$ . Сечение этого процесса составляет значительную часть полного сечения  $e^+e^-$  аннигиляции на ILC, так что этот процесс может надежно наблюдаться и исследоваться здесь. Граничные точки энергетических распределений дилептонов или ди-джетов, представляющих  $W$ , можно было бы использовать для определения масс  $M_\pm$  и  $M_D$ . Для этого необходимо было бы аккуратно измерить и верхнюю и нижнюю границы этих распределений. К сожалению, из-за неопределенности в измерении энергий отдельных струй, нижняя граница спектра определяется плохо, и аккуратные измерения в ди-джет моде невозможны. В лептонной моде наблюдаемым является лишь заряженный лептон, и метод кинематических границ прямо не проходит. Недавно выяснилось, что энергетическое распределение лептона  $\ell = \mu, e$  в каскаде  $ee \text{ @ } ILC \text{ @ } ILC \text{ @ } ILC \text{ @ } ILC \text{ @ } ILC$  помимо верхней границы распределения содержит хорошо выделяемые особые точки (изломы или максимумы, наряду с верхней границей спектра), измерение положений

которых позволит определить массы  $M_{\pm}$  и  $M_D$  без использования специфической модели рождения. Мы вычисляем соответствующие распределения и демонстрируем, что эти особые точки достаточно четко выделяются на соответствующих кривых.

1. I. F. Ginzburg, ArXive: hep-ph/1010.5579 (2010);
2. Г. И. Копылов. Всего лишь кинематика. Библиотечка "Квант" для школьников, изд. Наука М. (1981)
3. R.D. Heuer et al. TESLA Technical Design Report, DESY 2001-011, TESLA Report 2001-23, TESLA FEL 2001-05 (2001)
4. Particle Data Group. Journ. of Phys. (2010)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. И. Ф. Гинзбург.

# НАБЛЮДЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СУПЕРПОТЕНЦИАЛА КАК ДОКАЗАТЕЛЬСТВО НАЛИЧИЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ ПОЛЕЙ ТЁМНОГО СЕКТОРА И ЕЁ НЕРАВНОВЕСНОСТИ

С. В. Крюков

Ульяновский государственный педагогический университет

В эволюции Вселенной немаловажную роль сыграли поля тёмного сектора, на присутствие которых указывают многие исследования [1]. На ускоренное расширение Вселенной так же указывает реконструкция космологического потенциала, основанная на наблюдательных данных набора сверхновых типа SN Ia.

В работе были рассмотрены уравнения Эйнштейна со скалярными полями [2] в классе метрик Фридмана-Робертсона-Уокера.

$$W = V(t) + \frac{1}{2}\dot{\phi}^2(t) \quad W = V(t) + \frac{1}{2}\dot{\phi}^2(t)$$

Приняв во внимание вид суперпотенциала, мы реконструировали потенциал поля, квадрат производной по времени самого поля и суперпотенциал по красному смещению  $z$ :

$$V(z) = \frac{1}{\kappa}(\Lambda + 4H^2(z) + 2K(1+z)^2) \quad V(z) = \frac{1}{\kappa}(\Lambda + 4H^2(z) + 2K(1+z)^2)$$

$$\dot{\phi}^2(z) = \frac{1}{\kappa}(H(z) - H^2(z) + 2K(1+z)^2)$$

$$\dot{\phi}^2(z) = \frac{1}{\kappa}(H(z) - H^2(z) + 2K(1+z)^2)$$

$$W(z) = \frac{1}{\kappa}\left(\Lambda + \frac{7}{2}H^2(z) + \frac{1}{2}H(z) + 3K(1+z)^2\right).$$

$$W(z) = \frac{1}{\kappa}\left(\Lambda + \frac{7}{2}H^2(z) + \frac{1}{2}H(z) + 3K(1+z)^2\right).$$

Так же были проведены исследования по зависимости величины суперпотенциала от времени при различной кривизне пространства времени, которые указывают на нелинейное изменение величины суперпотенциала. Полученные результаты подтверждают существование тёмной энергии – субстанции, ответственной за ускоренное расширение Вселенной [3].

- 
1. Edmund J. Copeland, M. Sami, Shinji Tsujikawa, Dynamics of dark energy. LANL e-print arhive physics.hep-th 0603057v3 (2006).
  2. С. В. Червон. Нелинейные поля в теории гравитации и космологии. – Ульяновск: УлГУ, 1997г. – 191 с.
  3. Крюков С.В. «Астрономические предсказания неизбежности существования тёмной энергии» // Университетское образование: традиции и инновации: материалы международного молодёжного научного форума / Отв. Ред. А.В. Ильина. – Ульяновск: УлГПУ, 2010. – 328-331 с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. В. Червон.

# ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СВЕТИМОСТИ С ДЕТЕКТОРОМ КМД-3 НА ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ ВЭПП-2000

А. Е. Рыжененков

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

В институте ядерной физики им. Г.И. Будкера работает коллайдер ВЭПП-2000 со встречными электрон-позитронными пучками с энергией до 2 ГэВ в с.д.м. Коллайдер ВЭПП-2000 позволит решать многочисленные физические задачи: прецизионное измерение фундаментальных констант, изучение эксклюзивных процессов рождения адронов.

Для получения сечений исследуемых процессов по числу зарегистрированных событий необходимо знать интеграл светимости  $e^+e^-$  взаимодействий. На ускорительном комплексе будут изучаться сечения аннигиляции  $e^+e^-$  в адроны с предполагаемой точностью 1-3%. Поэтому точность определения интеграла светимости должна быть лучше в несколько раз.

В работе светимость на детекторе КМД-3 [1] измерялась по двум процессам:  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$  и  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ .

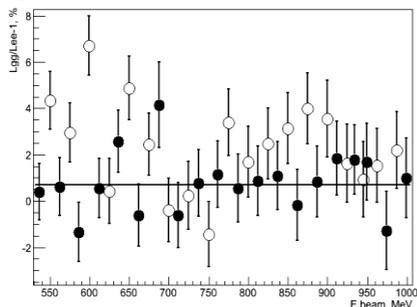


Рис.1 Отношение светимостей измеренных по двум процессам в зависимости от энергии пучка. Белые кружки — сканирование вверх, черные — сканирование вниз.

Основной вклад в систематическую ошибку дают следующие факторы: точность расчета радиационных поправок, неопределенность измерения телесного угла в котором регистрируются частицы, погрешность разделения частиц и эффективностью дрейфовой камеры и Z-камеры.

В работе была измерена светимость в заходах 2011 года (эксперимент SCAN 2011) и в заходах 2012 года (Ф-мезон). На рисунке 1 показана относительная разница светимостей измеренных по двум процессам. Относительная разница светимостей в среднем составляет ~2%.

Однако, в начале захода разница составляла  $\sim 3\%$ . Это объясняется проблемами с электроникой и плохой калибровкой систем детектора.

---

[1] G.V. Fedotovitch [CMD-3 Collaboration], CMD-3 Detector For VEPP-2000. Nucl. Phys. Proc. Suppl. 162 (2006) 332

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Г. В. Федотович.

## СТРУКТУРА НЕЙТРОНОИЗБЫТОЧНЫХ НУКЛИДОВ ГЕЛИЯ

И. К. Тлеулесова, Р. А. Бейсенова

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева

Размер ядра, также как распределение плотности ядерной материи, являются его важнейшими характеристиками, определяющими протяженность ВФ, ядерный потенциал, одночастичные орбитали.

Фактами, обосновывающими  $\alpha$ - $n$ - $n$ -модель ядра  ${}^6\text{He}$  и  $\alpha$ - $2n$ - $2n$ -модель ядра  ${}^8\text{He}$  являются малая энергия связи в канале  $\square$ - $2n$  (составляющая всего  $E_{\square-2n} = 0.973$  МэВ) и  $\square$ - $4n$  ( $E_{\square-4n} = 3.1$  МэВ), спектроскопический фактор каналов  $\square$ - $2n$  и  $\square$ - $4n$  близкий к единице, а также измерение ДПС рассеяния протонов на  ${}^6\text{He}$  и  ${}^8\text{He}$  в инверсной кинематике [1], из которых выведены доказательства их кластеризации на  $\square$ -частичный кор и валентные нуклоны, формирующие скин (0.9 Фм) [2, 3].

Анализ геометрической формы состояний ядра  ${}^6\text{He}$  в  $\alpha$ - $n$ - $n$ -модели показывает, что S-состояние включает в себя две геометрические конфигурации: динейтронную  $\square+(2n)$  и сигарообразную  $(n+\square+n)$  с  $\square$ -частицей между двумя нейтронами. Отношение весов динейтронной конфигурации к сигарообразной равно 2:1. Конфигурация P-состояния близка к равнобедренному треугольнику с  $r = 2.3$  Фм,  $R = 1.8$  Фм.

Найдено, что доминирующая конфигурация в  ${}^8\text{He}$  образует равнобедренный треугольник с углом, близким к прямому, в вершине которого находится  $\alpha$ -частица, а в основании – динейтронные кластеры, т.е. имеет место некоторая промежуточная конфигурация.

Анализ, проведенный в работе [2] показал, что увеличение радиуса происходит за счет внутренней составной структуры ВФ и их реалистической асимптотики. Отмечено [1-3], что они имеют общую проблему недосвязанности энергии  $\sim E_{2n} = -0.4$  МэВ (вместо  $-0.973$  МэВ). Сравнение ядер  ${}^6\text{He}$  и  ${}^8\text{He}$  показывает, что добавление большего числа валентных нуклонов к  $\alpha$ -частичному кору препятствует дополнительному пространственному «разбуханию» ядра, что и определено отношением величин зарядовых радиусов.

1. Alkhasov G.D. et al. // Phys. Rev. Let. 1997. V. 78. P. 2313.
2. Al-Khalili J. S. and Tostevin J. A. // Phys. Rev. C. 1998. V. 57. P. 1846.
3. Giot L. et al. // Phys. Rev. C. 2005. V. 71. P. 064311.
4. Василевский В.С. и др.// Sc.Pap. Inst. for Nucl. Res. 2002. №2 (8). P.512.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Б. А. Прмантаева.

# ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\rho^+\rho^-$ НА КОЛЛАЙДЕРЕ ВЭПП-2000 С ДЕТЕКТОРОМ КМД-3

Д. Н. Шемякин

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

В Институте Ядерной физики введен в эксплуатацию новый  $e^+e^-$ -коллайдер ВЭПП-2000 со светимостью  $10^{32} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$  и максимальной энергией 2 ГэВ в системе центра масс[1]. Для измерения сечений и изучения динамики процессов электрон-позитронной аннигиляции, идущих в этой области энергий, создан универсальный криогенный магнитный детектор КМД-3[2].

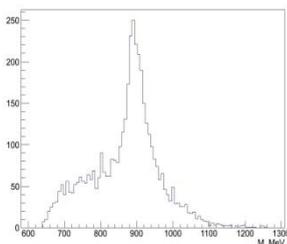


Рис.1. Инвариантная масса  $K^+\rho^-$  и  $K^-\rho^+$ .

Процесс  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\rho^+\rho^-$  на сегодняшний день изучался коллаборациями BaBar, BES и Belle. Их измерения демонстрируют наличие промежуточных состояний, которые дают вклад в данный процесс, включая  $K^*(892)K\rho$ ,  $K_1(1270,1400)K$ ,  $\rho(1020)\rho\rho$ . Получено указание на наличие необычных структур в спектрах масс. Однако недостаток статистики и наличие фоновых проблем не позволило провести детальное изучение методом парциальных волн, что необходимо для корректного разделения наблюдаемого конечного состояния по промежуточным каналам, через которые реализуется данный процесс. Высокая светимость ВЭПП-2000 и экспериментальные возможности детектора КМД-3 позволят измерить сечения адронных процессов со странными кварками на статистике на порядок большей, чем в экспериментах на В-фабриках.

На данный момент разработан алгоритм выделения событий процесса  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\rho^+\rho^-$  на детекторе КМД-3. Получены предварительные результаты по сечению процесса. Набранная статистика уже сегодня

позволяет выделить промежуточные состояния  $\phi(1020)\rho\rho$  и  $K^*(892)K\rho$ .  
В этом сезоне планируется увеличить статистику вдвое.

- 
1. Ю.М. Шагунов и др., Project of a new electron positron collider VEPP-2000. Proc. of EPAC-00, Vienna 2000, p. 439
  2. G.V. Fedotovitch [CMD-3 Collaboration], CMD-3 Detector For VEPP-2000. Nucl. Phys. Proc. Suppl. 162 (2006) 332

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Г. В. Федотович.

## ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТОЛСТЫХ ГАЗОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ (ГЭУ) В ГАЗООБРАЗНОМ И ДВУХФАЗНОМ АРГОНЕ И КСЕНОНЕ

Е. О. Шемякина

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

В лаб. 3 ИЯФ недавно был разработан и смонтирован новый криогенный лавинный детектор (КЛД или CRAD [1]) с криогенной камерой объемом 9 литров. Он представляет собой криостат, содержащий двухкаскадный толстый газовый электронный умножитель (ТГЭУ или THGEM [2]) и Гейгеровские лавинные фотодиоды (ГЛФД или GAPD). В двухфазном режиме катод возле дна камеры покрыт слоем жидкого аргона или ксенона, а двухкаскадный ТГЭУ помещен в насыщенный пар над жидкостью.

КЛД по определению есть детектор, работающий в режиме газового лавинного усиления при криогенных температурах. Развитие таких детекторов мотивировано растущим интересом к их использованию в криогенных экспериментах в физике высоких энергий и астрофизике и в медицинской визуализации, в которых сигнал от первичной ионизации очень слаб. К ним относятся эксперименты по когерентному рассеянию нейтрино на ядрах, поиску темной материи, регистрации солнечных нейтрино (и нейтрино от ускорителей и космических лучей) и позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ). Типичное выделение энергии в событии в таких экспериментах имеет порядок 0.1, 5, 100 и 500 кэВ, соответственно. Поэтому сигнал должен быть усилен. Для этой цели можно использовать уникальное свойство толстых ГЭУ работать в плотных благородных газах при криогенных температурах с высокими газовыми усилениями.

К настоящему моменту была изучена работа толстых ГЭУ с активной областью  $2,5 \times 2,5$  см<sup>2</sup> в газообразном и двухфазном ксеноне; была продемонстрирована устойчивая работа двухкаскадного толстого ГЭУ в двухфазном ксеноне; а также проведены измерения усилительных характеристик толстых ГЭУ с активной областью  $10 \times 10$  см<sup>2</sup> как в газовом, так и в двухфазном режиме с толщиной слоя жидкого аргона 1 см. В ближайшее время планируется увеличение толщины жидкости с одного сантиметра до пяти.

---

[1] A. Buzulutskov, JINST 7 C02025 (2012)

[2] A. Breskin, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 598 (2009) 107

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, А. Ф. Бузулуцков.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

КВАНТОВАЯ ОПТИКА И ФИЗИКА ЛАЗЕРОВ .....	10
П. В. Ващенко.....	10
А. И. Горковенко .....	11
О. В. Егоров .....	12
М. С. Иванов, А. О. Маркин, А. Б. Мухтубаев, В. Ю. Рябченко .....	13
Р. Я. Ильенков .....	14
Т. Н. Иргалин, Ю. Ю. Чопорова.....	15
П. Н. Косулин .....	16
А. А. Лямкина, С. П. Мощенко.....	18
Н. А. Митина .....	19
О. В. Пелипасов .....	21
К. В. Поляков, А. В. Лаптев.....	23
К. Д. Потешкина.....	24
А. Г. Саинова, Р. К. Насыров .....	25
В. А. Симонов.....	26
С. В. Сониная .....	27
К. С. Табатчикова .....	28
Е. А. Якшина .....	29
ФИЗИКА ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ .....	30
Н. Амангельди, Н. У. Эшбеков, А. О. Любутин, Б. Мауей, А. А. Темербаев .....	30
Е. М. Громов.....	32
М. В. Ивко .....	33
С. В. Крюков .....	35

А. Е. Рыжененков.....	36
И. К. Тлеулесова, Р. А. Бейсенова .....	37
Д. Н. Шемякин .....	38
Е. О. Шемякина.....	39

МАТЕРИАЛЫ  
50-Й ЮБИЛЕЙНОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«Студент и научно-технический прогресс»

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

*Материалы конференции публикуются в авторской редакции*

*Дизайн обложки – Студия дизайна Вадима Гончарова  
(<http://vadimdesign.ru>)*

---

Подписано в печать \_\_\_\_\_

Офсетная печать

Заказ № \_\_\_\_\_

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. \_\_\_\_ Усл. печ. л. \_\_\_\_

Тираж \_\_\_\_ экз.

---

Редакционно-издательский центр НГУ  
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2