

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ НАУКАМ



# “ЛОМОНОСОВ-2014”

СЕКЦИЯ

## “ФИЗИКА”

Сборник тезисов

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ  
2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА



XXI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ НАУКАМ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ

**“ЛОМОНОСОВ-2014”**

СЕКЦИЯ  
**“ФИЗИКА”**

Сборник тезисов докладов

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ  
2014

**XXI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов—2014»**

**Секция «Физика»**

**Сборник тезисов**

8 апреля 2014 г. Физический факультет.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

**Оргкомитет секции:**

Сысоев Н.Н. — декан физического факультета (председатель);  
Федосеев А.И. — заместитель декана (зам. председателя);  
Федянин А.А. — заместитель декана (зам. председателя);  
Прудников В.Н. — заместитель декана (зам. председателя);  
Корнеева Ю.В. — председатель СМУ физического факультета  
Дембицкий А.С. — председатель профкома студентов физического факультета  
Гапочка М.Г. — зав. учебной частью физического факультета  
Мазаева И.В. — начальник 4 курса  
Федорова К.В. — начальник 5 курса  
Нифанов А.С. — начальник 6 курса  
Паршинцев А.А. — ответственный секретарь;

**Экспертный совет секции:**

Сысоев Н.Н. — профессор, председатель (декан физического факультета).  
Бушуев В.А. — профессор;  
Кульбачинский В.А. — профессор;  
Митрофанов В.П. — профессор;

Подписано в печать 25.03.2014.

Объем 22,25 п.л. Тираж **150**

Заказ № 27

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
119991 ГСП-1. г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

Отпечатано в отделе оперативной печати физического факультета.

© Физический факультет МГУ, 2014

В апреле 2014 года в Московском университете была проведена XXI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов-2014».

Заседания секции «Физика» этой конференции были организованы и проведены на физическом факультете МГУ 8 апреля 2014 года.

На секции «Физика» были представлены доклады практически по всем разделам современной фундаментальной физической науки. В этом году на секции «Физика» принято 328 докладов, и они распределены по 17 подсекциям. На секцию «Физика» зарегистрировались 362 участника. Среди участников 199 представителей Москвы и 163 участника из других городов России, стран СНГ и дальнего зарубежья. Из общего числа всех участников 108 человек являются студентами, аспирантами и молодыми учеными Московского университета.

1. **Астрофизика** (проф. Постнов Константин Александрович)
2. **Атомная и ядерная физика** (доц. Широков Евгений Вадимович)
3. **Биофизика** (проф. Твердислов Всеволод Александрович и проф. Хомутов Геннадий Борисович)
4. **Геофизика** (проф. Максимочкин Валерий Иванович)
5. **Математика и информатика** (проф. Ягола Анатолий Григорьевич)
6. **Мат. моделирование** (проф. Чуличков Алексей Иванович)
7. **Молекулярная физика** (проф. Уваров Александр Викторович)
8. **Нелинейная оптика** (проф. Гордиенко Вячеслав Михайлович)
9. **Оптика** (В.н.с. Китаева Галия Хасановна)
10. **Медицинская физика** (проф. Пирогов Юрий Андреевич)
11. **Радиофизика** (проф. Митрофанов Валерий Павлович)
12. **Сверхпроводящие и электронные свойства твердых тел** (проф. Кульбачинский Владимир Анатольевич)
13. **Твердотельная наноэлектроника** (проф. Тимошенко Виктор Юрьевич)
14. **Теоретическая физика** (проф. Жуковский Владимир Чеславович)
15. **Физика магнитных явлений - I** (проф. Зубов Виктор Евгеньевич)  
**Физика магнитных явлений - II** (проф. Шалыгина Елена Евгеньевна)
16. **Физика твердого тела - I** (проф. Бушуев Владимир Алексеевич)  
**Физика твердого тела - II** (проф. Казанский Андрей Георгиевич)
17. **Стендовая подсекция** (доц. Пятаков Александр Павлович,  
доц. Селиверстов Алексей Валентинович)

Участники, доклады которых были признаны лучшими на подсекциях, награждены грамотами конференции. Сборник тезисов докладов секции «Физика» ежегодно издается на физическом факультете, начиная с 1996 года. В настоящем сборнике представлены систематизированные по подсекциям тезисы докладов секции «Физика» конференции «Ломоносов -2014».

Председатель оргкомитета секции «Физика»  
конференции «Ломоносов-2014»  
декан физического факультета, профессор

Н.Н. Сысоев

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕЙФА ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНЫХ УКАЗОК АКУСТООПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Притуленко И.Г., Юхневич Т.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия

В настоящее время «лазерные указки» широко применяются не только в повседневной жизни, но и в научных исследованиях благодаря их дешевизне, доступности, небольшим размерам и простоте конструкции. Например, при проведении лабораторных исследований лазерные указки часто используются в качестве настроечного элемента для юстировки основного источника излучения. Также за счет своей компактности лазерные указки применяются в экспериментальных прототипах моделей приборов и в самих приборах, например, при калибровках.

Обычно считается, что излучение лазерной указки является монохроматичным и характеризуется постоянной интенсивностью. Известно, что в лазерных указках активный излучающий элемент чаще всего представляет собой полупроводниковый светодиод [1]. Можно предположить, что длительное время работы лазерной указки и продолжительное воздействие постоянного напряжения, приложенного к лазерной указке, вызывает нагрев активного элемента, что в свою очередь сказывается на длине волны и интенсивности излучения данного устройства. Также на основных параметрах излучения должна сказаться деградация источника питания указки, что проявляется в изменении амплитуды приложенного напряжения.

Наше зрение может качественно отследить изменение интенсивности излучения: мы замечаем ослабление яркости пятна, когда батарейки «сажаются». В то же самое время человеческий глаз принципиально не способен отследить изменение длины волны излучения на несколько десятков ангстрем. Аналогично, глазом трудно заметить ослабление интенсивности света на десятки процентов, если только интенсивность этого излучения мала. Однако, подобные изменения в характеристиках излучения легко регистрируются современной оптоэлектронной аппаратурой. К такой аппаратуре относятся, например, акустооптические устройства, позволяющие контролировать амплитуду, фазу, частоту, поляризацию и другие характеристики оптического излучения [2]. С помощью современных перестраиваемых акустооптических фильтров легко и оперативно отслеживается изменение волны и интенсивности излучения источника света. Благодаря тому, что в акустооптическом приборе дифракция электромагнитного на решетке, созданной ультразвуком, происходит только при выполнении условий Брэгговского синхронизма, то при неизменном угле падения излучения на акустооптический кристалл изменение длины волны света приведет к необходимости изменения частоты ультразвукового сигнала, прикладываемого к пьезопреобразователю кристалла. Изменение интенсивности падающего на акустооптический фильтр излучения приводит к изменению интенсивности дифрагированного света.

В данной работе для исследования были выбраны две лазерные указки с номинальной длиной волны, указанной в паспорте устройства, равной 405 нм (фиолетовый цвет) и 650 нм (красный цвет). Исследование проводилось при помощи акустооптического фильтра на основе кристалла парателлурита [3]. При экспериментах изучение лазерных указок направлялось на вход акустооптического фильтра, ортогонально его входной оптической грани. Интенсивность дифрагированного излучения регистрировалась фотоприемником. Частота электрического сигнала, подаваемого на вход фильтра, выбиралась по максимуму интенсивности дифрагированного излучения. При известной кривой перестройки фильтра по оптическим частотам можно было непосредственно определить длину волны регистрируемого излучения. Изменение интенсивности входного оптического сигнала контролировалось при измерении напряжения сигнала фотоприемника. Измерения проводились как с автономными источниками питания лазерной

указки (батарейки типа ААА «Camelion»), так и с источником постоянного напряжения.

В ходе проведенного эксперимента были получены следующие зависимости интенсивности излучения устройства, от величины приложенного управляющего напряжения. Кроме того при этом измерялась длина волны дифрагированного излучения. Данные измерения проводились непосредственно после включения источника питания, а также спустя определенные промежутки времени в пределах одного часа. Результаты проведенных исследований показали, что работа лазерной указки, излучающей в красном диапазоне спектра электромагнитных волн, была в значительной степени стабильной. Дрейф её длины волны и интенсивности дифрагированного света при изменении напряжения от 2.0 В до 6.0 В оказался незначительным  $20 \pm 2$  А. Дрейф длины волны фиолетовой указки, наоборот, оказался весьма значительным и составил  $200 \pm 13$  А при изменении напряжения от 2.2 В до 3.0 В. При этом изменение интенсивности излучения устройства составило 40%. Измерения, проводившиеся при постоянном напряжении питания в течении 60 минут показали, что фиолетовая лазерная указка спустя 15 минут непрерывной работы выходит на стабильный уровень интенсивности излучения, а красная через 5 минут. Изменение длины волны при этом оказалось равным  $400 \pm 7$  нм для красной указки  $660 \pm 9$  нм и для фиолетовой. Измерение с автономным источником питания показало, что основной причиной дрейфа параметров лазерной указки явилось разряжение батареек.

Таким образом, проведенные измерения доказали, что спектральные и амплитудные характеристики лазерных указок в первую очередь определяются автономными элементами питания. При стабильном напряжении питания заметные изменения длины волны излучения и его интенсивности происходят лишь в первые минуты работы приборов.

Данные исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта «мол\_а 14-02-31184»

[pritylenko@mail.ru](mailto:pritylenko@mail.ru)

#### Литература

1. М. Пиллун «Инежекционные лазеры» // УФН, том 98, вып. 2, стр. 295-350, 1969.
2. В.И. Балакший, В.Н. Парыгин, Л.Е. Чирков «Физические основы акустооптики», М: Радио и связь? 1985.
3. N. Gupta and V. B. Voloshinov, "Development and characterization of two-transducer imaging tunable acousto-optic filters with extended tuning range"// Applied Optics, vol. 46, p. 1081-1088, 2007.

### ПОЛНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИЗМЕРЕННОЕ В ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ НА СЕТИ ГНСС – СТАНЦИЙ РАСПОЛОЖЕННЫХ ВДОЛЬ ГЕОМАГНИТНОЙ ШИРОТЫ СТЕНДА «СУРА»

Когогин Д.А., Дементьев В.О.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

В настоящее время данные полученные с помощью двухчастотного радиозондирования сигналами спутников систем GPS и ГЛОНАСС активно используются для диагностики искусственных ионосферных возмущений. При распространении через ионосферу, у таких сигналов появляется дополнительный набег фазы, обусловленный дисперсией радиоволн в ионосферной плазме и линейно связанный с полным электронным содержанием (ПЭС) на траектории распространения сигнала.

По условиям проведения эксперимента регистрация сигналов от глобальных навигационных спутников систем (ГНСС) осуществлялась в пространственно-разнесенных

пунктах расположенных вдоль геомагнитной широты стэнда «Сура»: п. «Васильсурск» (56°09' с. ш., 46°06' в. д.) (расположен непосредственно на территории радиополигона, 400 м от антенной системы стэнда «Сура»); используется ГНСС-приёмник «Prego-T»); п. «Зеленодольск» (расположен - 55°52' с. ш., 48°33' в. д.; используется ГНСС-приёмник TrimbleNet R9); п. «Казань» (расположен - 55°48' с. ш., 49°08' в. д.).

Для определения ПЭС (относительное наклонное полное электронное содержание (TEC – total electron content в английской транскрипции) использовалась методика, описанная в работе [1].

$$I_L = -\frac{1}{K} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} (\lambda_1 L_1 - \lambda_2 L_2) + const \quad (1)$$

где  $K = 40,308 \cdot 10^{16} m_e^{-2} / TECU$ ,  $TECU$  – общепринятая единица измерения ПЭС,  $1 TECU = 10^{16} m^{-2}$ ,  $I_L$  – ПЭС, рассчитанное по измерениям фазы сигнала ГНСС (GPS, ГЛОНАСС),  $const$  – константа неопределенности, связанная с тем, что фаза принимаемого сигнала измеряется относительно опорного сигнала, генерируемого приемником, который никак не синхронизирован с оборудованием на спутнике.

Для детального изучения малых вариаций ПЭС из исходной зависимости  $I(t)$  (полное электронное содержание от времени), удалялся тренд при помощи вычитания скользящего среднего с линейной весовой функцией:

$$dI(j) = I(j) - \frac{1}{N} \sum_{n=j-N}^{j+N} \left( I[n] \frac{N-|n-j|}{N} \right) \quad (2)$$

$dI$  – колебания ПЭС относительного среднего уровня,  $N$  – параметр усреднения, общее число точек суммирования.

Данные полученные от ГНСС представляют собой файлы в формате RINEX [2]. При постобработке параметр  $N$  выбирался таким образом, что бы время усреднения соответствовало времени релаксации крупномасштабной ионосферной неоднородности (~15÷20 мин). Оценки времени релаксации были выполнены в работе [1].

В работе проанализированы данные экспериментальной кампании проведенной в мае 2013 года на стэнде «СУРА» по искусственному воздействию на ионосферу мощным радиоизлучением. Полученные результаты позволяют сделать вывод о проявлении вариаций ПЭС для всех трех пунктов наблюдения (Васильсурск, Зеленодольск, Казань). Амплитуда вариаций ПЭС составляет 0,15-0,3 TECU.

Кроме того, зарегистрировано понижение ПЭС (до 0,8 TECU) во всех трёх пунктах наблюдения, связанное с прохождением Солнечного терминатора вдоль линии Казань-Зеленодольск-Васильсурск, то есть в направлении восток-запад.



Рис. 1. Расположение пунктов приёма сигналов от ГНСС (отмечено ромбами на карте); линия с маркерами времени – трасса и время (UTC) прохождения спутника GPS №29 (сплошная линия). Дата: 16.05.2013



Рис. 2. Вариации ПЭС для спутника GPS №29. Режим работы передатчиков стэнда Сура: – 7 минут напрев, 3 минуты пауза. Время работы стэнда «Сура»: 13 мая – 19:00 UTC – 20:00 UTC; 14 мая – 19:00 UTC – 19:50 UTC; 16 мая – 18:50 UTC – 19:40 UTC.

Авторы выражают благодарность Насырову Игорю Альбертовичу, Грачу Савелию Максимовичу, Шиндину Алексею Владимировичу и сотрудникам стэнда «Сура» за помощь в проведении эксперимента, обработке и интерпретации полученных результатов.

E-mail: dkogogin@kpfu.ru, dinamit201@yandex.ru

#### Литература

1. Рябов А.В. Исследование характеристик крупномасштабных неоднородностей ионосферы, вызванных воздействием на неё мощного коротковолнового радиоизлучения, с помощью сигналов GPS / А.В. Рябов, С.М. Грач, А.В. Шиндин, Д.С. Котик // Известия вузов. Радиофизика. – 2011. – Т. LIV. – № 7. – С. 485 – 496.
2. Werner G. The Receiver Independent Exchange Format (RINEX). v. 2.11 / G. Werner, E Lou, перевод на русский язык: Чукин В. В., Кононова Е. А. – Российский государственный гидрометеорологический университет – 2008. – 42 с.

#### МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛАТИНА С ПРИЛОЖЕНИЕМ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ

Голубкова И.И., Крит Т.Б.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия

Измерение нелинейных параметров биологических тканей является одной из важнейших задач в медицинской диагностике. Разработка методов диагностики проводится на искусственных гелеобразных материалах. При деформации, превышающей 25% от толщины слоя, в некоторых гелеобразных материалах возникают эффекты, обусловленные кубичной нелинейностью [1]. Изучение таких эффектов позволяет измерять нелинейные упругие параметры ткани, называемые параметрами Ландау. Авторами работы [2] предложен метод определения параметров Ландау, основанный на измерении волновых скоростей. В данной работе исследуются статические сдвиговые деформации плоскопараллельного гелеобразного слоя из желатина, которые создаются одновременно с его одноосным сжатием.

Уравнение движения для частиц внутри гелеобразного слоя имеет вид:

$$\rho u_i = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}, \quad (1)$$

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ЧАСТОТНЫХ ГРЕБЕНОК И СОЛИТОНОВ В МИКРОРЕЗОНАТОРАХ.

Лихачев Г.В.

МШУ им.М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

Оптические частотные гребенки представляют собой набор эквидистантных спектральных линий в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах. Представляя точные частотные маркеры, оптические гребенки могут применяться в частотной метрологии и спектроскопии для точных измерений, связывая неизвестную оптическую частоту с СВЧ стандартом. В последние годы развивается использование оптических гребенок на основе оптических микрорезонаторов в форме сферы, диска, тороида [1,2]. Такие гребенки позволяют осуществить связь между оптическим и радиочастотным диапазонами в компактном устройстве. Мы провели численное моделирование широких гребенок, изучили их динамику в спектральном и пространственно-временном представлениях, выполнили анализ экспериментальных данных.

Поскольку оптические моды типа шепчущей галереи в резонаторах сочетают малый эффективный объем поля с высокой добротностью, то порог проявления различных нелинейных эффектов оказывается низким [3]. Одним из таких эффектов является нелинейный эффект четырехчастотного взаимодействия, приводящей к формированию оптической гребенки: два фотона накачки переходят в боковые линии. Если накачка достаточно велика, то гребенка формируется благодаря каскадному процессу образования таких боковых линий, как суммы взаимодействий всевозможных 4 фотонов, удовлетворяющим частотным требованиям. Эффект возникает из-за материальной Керровской нелинейности среды.

В спектральном представлении для амплитуд отдельных мод задача описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с нелинейным членами, количество которых растет кубически с числом рассматриваемых мод. Для ее численного решения был использован метод Рунге-Кутты с адаптивным шагом. Адекватность использования этого метода была проверена хорошим совпадением результатов численного моделирования и эксперимента. Существенное сокращение времени счета было достигнуто заменой суммы нелинейных членов на близкую величину, которая вычислялась с помощью преобразования Фурье на GPU.

В пространственно-временном представлении задача для суммарного поля внутри резонатора описывается уравнением Луджиато-Лефевра – нелинейным уравнением Шредингера с дополнительными членами, описывающими накачку и диссипацию. Для моделирования уравнением Луджиато-Лефевра использовался наиболее быстрый Фурье метод расщепления по параметрам. При одинаковых начальных условиях оба типа моделирования дают похожие результаты.

Расчет для большого числа мод дает картину генерации оптических гребенок и солитонных режимов. Нами были исследованы зависимости генерации солитонов от дисперсии высоких порядков и возмущений, связанных с эффектом нормального расщепления мод.

E-mail: g.lihachev@gmail.com

**Литература**

1. P. Del'Haye, A. Schliesser, O. Arcizet, T. Wilken, R. Holzwarth, T. J. Kippenberg, "Optical frequency comb generation from a monolithic microresonator", Nature, 450:1214-1217, 2007.
2. T. Herr, J. Riemensberger, C. Wang, K. Hartinger, E. Gavartin, R. Holzwarth, M. L. Gorodetsky, T. J. Kippenberg, "Universal Formation Dynamics and Noise of Kerr Frequency Comb in Microresonators", Nature Photonics, 6, 480-487, 2012.
3. Городецкий М.Л., "Основы теории оптических микрорезонаторов", Москва, 2010.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ ОТРАЖЕНИЯ МОЩНЫХ РАДИОВОЛН В ИОНОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАГРЕВНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СТЕНДЕ «СУРА»

В.О. Дементьев, Когогин Д.А.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

При обработке и интерпретации экспериментальных данных по искусственному воздействию на ионосферу мощным радиоизлучением одной из основных задач является определение высоты отражения мощной радиоволны О-поляризации, а также толщины области плазменных резонансов.

Целью данной работы является разработка программы на основе метода Гамильтона для расчёта лучевых траекторий КВ радиосигналов, распространяющихся в трёхмерно-неоднородной ионосфере, и нахождение высоты отражения радиоволны.

Для компьютерного моделирования характеристик неоднородной среды, в которой распространяется электромагнитная волна, была выбрана полуэмпирическая модель распределения электронной концентрации в ионосфере IRI-2012 [1].

Показатель преломления считается действительным и выражается через электронную концентрацию следующим образом [3]:

$$n^2 = 1 - \frac{e^2 N}{4\pi^2 m \epsilon_0 f^2},$$

где  $e$  – заряд электрона,  $m$  – масса электрона,  $\epsilon_0$  – роницаемость свободного пространства,  $f$  – частота,  $N$  – концентрация электронов.

Система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающая траекторию луча, представляется следующим образом [2,3]:

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dt} &= \frac{cn}{r_e} \cos \alpha_1, \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{cn \cos \alpha_2}{r_e r}, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{cn \cos \alpha_3}{r_e r \sin \theta}, \\ \frac{d\alpha_1}{dt} &= \frac{c}{r_e} \left( -\sin \alpha_1 \left( \frac{\partial n}{\partial r} + \frac{n}{r} \right) + \frac{\cos \alpha_1}{r} \left( \frac{\cos \alpha_2}{\sin \alpha_1} \right) \frac{\partial n}{\partial \theta} + \frac{\cos \alpha_1}{r \sin \theta} \left( \frac{\cos \alpha_3}{\sin \alpha_1} \right) \frac{\partial n}{\partial \varphi} \right), \\ \frac{d\alpha_2}{dt} &= \frac{c}{r_e} \left( \cos \alpha_2 \left( \frac{\cos \alpha_1}{\sin \alpha_2} \right) \left( \frac{\partial n}{\partial r} + \frac{n}{r} \right) - \frac{\sin \alpha_2}{r} \left[ \frac{\partial n}{\partial \theta} + n \cdot \text{ctg} \theta \left( \frac{\cos \alpha_3}{\sin \alpha_2} \right)^2 \right] + \frac{\cos \alpha_2}{r \sin \theta} \left( \frac{\cos \alpha_1}{\sin \alpha_2} \right) \frac{\partial n}{\partial \varphi} \right), \\ \frac{d\alpha_3}{dt} &= \frac{c}{r_e} \left( \cos \alpha_3 \left( \frac{\cos \alpha_1}{\sin \alpha_3} \right) \left( \frac{\partial n}{\partial r} + \frac{n}{r} \right) + \frac{\cos \alpha_3}{r} \left( \frac{\partial n}{\partial \theta} + n \cdot \text{ctg} \theta \right) - \frac{\sin \alpha_3}{r \sin \theta} \frac{\partial n}{\partial \varphi} \right). \end{aligned}$$

Здесь принята геоцентрическая система координат  $r, \varphi$ ;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – углы направляющих косинусов луча;  $n(r, \theta, \varphi)$  – показатель преломления;  $r_e$  – радиус Земли.

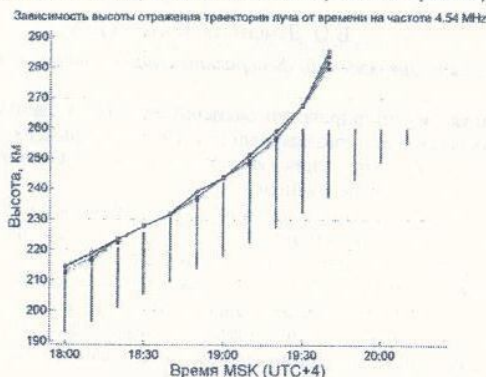
Известно, что в ионосфере существует область плазменных резонансов [4]. Поскольку в ионосфере плотность плазмы  $N$  изменяется с высотой  $z$ , то для мощной волны с заданной частотой  $\omega$  существует целый резонансный слой: на нижней границе слоя достигается верхнегибридный резонанс  $\omega = \omega_{UH}(z_{UH})$ , на верхней границе – лэнгмюровский резонанс  $\omega = \omega_L(z_L)$ . Частоты этих резонансов определяются следующими формулами:

$$\omega_{UH}(z_{UH}) = \left( \frac{4\pi e^2 N(z_{UH})}{m} + \omega_H^2 \right)^{1/2}, \quad \omega_L(z_L) = \left( \frac{4\pi e^2 N(z_L)}{m} \right)^{1/2},$$

где  $e$  и  $m$  – заряд и масса электрона,  $N(z_L)$  и  $N(z_{UH})$  – плотность плазмы на высоте  $z_L$  и  $z_{UH}$  соответственно,  $\omega_H = eH/mc$  – гиромагнитная частота.

В соответствии с поставленной задачей были рассчитаны траектории радиоволн на частоте 4.54 МГц для 7 ноября 2013 г. с 18:00 до 22:00 MSK с интервалом 10 минут. Передатчик находится в городе Васильсурск в месте расположения нагревательного стенда «Сура». Диаграмма направленности передатчика: зенитный угол 3 градуса, ази-

мутальные углы 0, 90, 180, 270 градусов. С использованием вышеприведенных формул были рассчитаны границы высот, на которых выполняются условия для верхнегибридного и ленгмюровского резонансов, а также высоты отражения траекторий лучей.



Численный эксперимент показал, что высота отражения траекторий лучей увеличилась от 215 до 285 км со временем с 18:00 до 19:40, а с 19:50 до 22:00 отражений лучей от резонансной области не было. Нижняя граница высоты верхнегибридного резонанса увеличилась от 192 км до 255 км с 18:00 до 20:10, верхняя граница ленгмюровского резонанса увеличилась от 215 км до 260 км с 18:00 до 20:10. Также с 20:20 до 22:00 верхнегибридного и ленгмюровского резонансов на частоте 4.54 МГц не наблюдалось. Высоты отраженных лучей оказались на верхней границе резонансного слоя с 18:00 до 19:20.

Авторы выражают благодарность Насырову Игорю Альбертовичу за постановку задачи и интерпретацию полученных результатов, а также сотрудникам ФБГНУ НИРФИ (Н. Новгород) за помощь в проведении эксперимента.

E-mail: dinamit201@yandex.ru, dkogogin@kpfu.ru

#### Литература

1. <http://modelweb.gsfc.nasa.gov/ionos/iri.html> (Интернет – ресурс).
2. Кравцов Ю. А., Орлов Ю. И. Геометрическая оптика неоднородных сред. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980.
3. Лучевое приближение и вопросы распространения радиоволн. Перевод с англ. под ред. М.П. Кияновского, 1971, с. 11 – 37, 280 – 283.
4. А.В. Гуревич Нелинейные явления в ионосфере, УФН, Том 177, №11, Ноябрь 2007 г.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ПОМЕХА В СИСТЕМЕ С КОРРЕЛЯЦИОННЫМ ПРИЕМОМ СФОКУСИРОВАННЫХ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Логинов С.В.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия

Имеются различные подходы к восстановлению распределения поля температуры внутри биологических объектов [1-5, 9-10, 12]. Информация о распределении поля температуры может помочь при медицинской диагностике новообразований и нарушении кровообращения [6-8, 11, 12]. Корреляционный подход, предложенный в [1-5], позволяет определить температуру, скорость звука и коэффициент поглощения в каждом элементе разрешения исследуемого объекта (органа) с помощью измерений термоакустического поля, т.е. акустического излучения, создаваемого нагретыми телами. При подходе [1-5] раздельное восстановление температуры, скорости звука и поглощения

возможно только при применении анизотропной подсветки элемента разрешения – специально создаваемого теплового или квазитеплового поля с эффективной температурой, которая различна для различных приемников. В работах [1, 3] предлагается использовать корреляционный метод в сочетании с фокусировкой термоакустических полей зеркальной системой. Фокусированная система позволит уменьшить количество преобразователей и объем корреляционных вычислений и позволит создать антенную решетку из гидрофонов малой апертуры, способную производить измерения сразу для линии внутри исследуемого органа. При этом сканирование сводится к одномерному перемещению гидрофонов и зеркальной системы относительно органа вместо фазирования многих пар приемников многоэлементных антенных решеток. Кроме того, система с фокусировкой значительно упрощает создание анизотропной подсветки, по сравнению с системой с многоэлементными антенными решетками.

На данном этапе ставилась задача создания установки, осуществляющей корреляционный прием сфокусированных термоакустических полей. Для фокусировки применялись простые в изготовлении сферические зеркала. Однако искажения, вносимые ими за счет сферической абберации, снижают когерентность принимаемых термоакустических сигналов от протяженных источников. Предложена методика оценки в лучевом приближении степени когерентности термоакустических сигналов от протяженных тепловых источников для заданного положения зеркал и приемников. С помощью численной реализации данной методики для двух изготовленных сферических зеркал размером 4x10 см с радиусом 23 см найдено положение, для которого можно создать антенную решетку из преобразователей размером 5x10 мм, позволяющую принимать термоакустическое излучение от источников в области размером около 10 см, с коэффициентом когерентности от 0.7 до 0.95. Кроме термоакустического излучения, попадающего от элемента разрешения, на приемники термотомографа будет попадать фоновое термоакустическое излучение, являющееся помехой. Предложен метод оценки отношения сигнал/помеха для подобных схем с зеркальной системой фокусировки. Суть метода заключается в определении потерь полезного термоакустического сигнала из-за конечности размеров фокусного пятна и сферической расходимости. Оценено соотношение сигнал/помеха для приведенных параметров зеркал и приемников. Оценка соотношения сигнал/помеха в случае среды, являющейся непоглощающей на пути между элементом разрешения и приемниками, показала возможность определения температуры с достаточной для медицины точностью 0.1° при факторе накопления  $\Delta f \cdot \Delta t$ , превосходящем  $10^6$  ( $\Delta f$  – ширина полосы частот,  $\Delta t$  – время измерения). Была создана экспериментальная установка с двумя гидрофонами для корреляционного приема термоакустического излучения от одного источника. Проведены эксперименты для искусственных (квазитепловых) и естественных (тепловых) источников. Было зафиксировано обнаружение корреляционного отклика для шумового излучения искусственного источника (с контрастом эквивалентной температуры ~20°), и естественного теплового источника (с контрастом эквивалентной температуры ~10°), при факторе накопления  $\Delta f \cdot \Delta t \sim 10^6$ . Экспериментальные результаты свидетельствуют о возможности создания акустического корреляционного термотомографа с предварительно сфокусированными термоакустическими полями.

E-mail: loginov@physics.msu.ru

#### Литература

1. Буров В.А., Дмитриев К.В., Евтухов С.Н. // Известия Российской Академии Наук. Серия Физическая, 2009, Т. 73, № 4, С. 551.
2. Буров В.А., Дариалашвили П.И., Евтухов С.Н., Румянцев О.Д. // Акустич. журн., 2004, Т. 50, № 3, С. 298.
3. Буров В.А., Дмитриев К.В., Логинов С.В., Румянцев О.Д. // Труды 54-й Научной конференции МФТИ Том 1 / Ред. В.А. Дружинина, И.А. Волкова, О.П. Котова, Л.В. Себова. «Физтех-полиграф», 2011 с 17–19
4. Буров В.А., Дариалашвили П.И., Румянцев О.Д. // Акустич. журн., 2002, Т. 48, № 4, С. 474.

Анализ динамики смачивания поверхности гидрофобизованного стекла водой и водными растворами галогенидов калия Шагиваева Ф.М.	
Электронное строение некоторых $\gamma$ -замещенных ацетилацетоната Cr(III) Яшин В.А.	131
Электронная структура внутрикомплексных азотсодержащих соединений никеля(II) методами ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и теории функционала плотности Комиссаров А.А.	132
Электронная структура комплексов гексагалогенидов сурьмы(III) и теллура(IV) по результатам методов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и квантовохимического моделирования Доценко А.А.	133
Интенсификация конвективного теплообмена в энергетических установках Башкир И.С.	134
Термографическое исследование пульсационных характеристик неизоэнтальной импульсной струи жидкости Новинская А.М.	135
Цифровая трассерная визуализация поля скоростей всплывающей конвективной струи в воде и этаноле Пилипюк Д.С.	137
Экспериментальное определение поля температур в воздухе над нагретой поверхностью применением теневого фонового метода и термографии Солдатенкова К.С.	138
Метод различения инфракрасных спектров жидких образцов в зависимости от их температуры с помощью расчета начальных моментов Королева А.В.	139
Метод поверхностного плазмонного резонанса и его применение к исследованию растворов ДНК с лигандами Фиронов А.Е.	140
Изучение альтернативных энергоносителей Осокин А.С.	141
Фотоэлектронные спектры и электронная структура замещенных имидонламинатов бора Тихонов С.А.	142
<b>Подсекция НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКИ</b>	
Теория явления самозахвата в динамике экситон-поляритонов в полупроводниковых микрорезонаторах Васильева О.Ф.	146
Генерация терагерцового излучения в плазме оптического пробоя в воздухе двухцветными лазерными импульсами с различными состояниями поляризации Ушаков А.А., Чижов П.А.	148
Динамика ударных волн и кавитационных пузырей, возникающих при филаментации фемтосекундного лазерного излучения в воде Мареев Е.И.	150
Влияние дисперсии среды на параметры фемтосекундного излучения при его фокусировке аксионом в плавный кварц Докукина А.Э., Сметанина Е.О.	152
Исследование материалов ограничителей лазерного излучения на основе углеродных нанотрубок методом Z-сканирования Савельев М.С., Герасименко А.Ю.	154
Спектроскопия генерации третьей гармоники электрического и магнитного резонансов кремниевых нанодисков Мелик-Гайказян Е.В.	156
Холестерические жидкие кристаллы на полимерных подложках для наблюдения оптических тамбовских состояний Гулькин Д.Н.	158
Генерация горячих электронов в релятивистской лазерной плазме с контролируемым прелазменным слоем Цымбалов И.Н., Шуляков С.А., Иванов К.А.	159
Двухрезонансный параметрический генератор света как двухконтурный параметрический генератор Сологуб А.А.	161
Образование электронной лавины фемтосекундным лазерным импульсом в газе различного давления Яндальский М.М.	161
Нелинейные свойства, а также анализ методами спектроскопии комбинационного рассеяния света нанокластерных сред на основе карбида кремния Соколов А.А.	163
Взаимодействие релятивистски-интенсивного фемтосекундного лазерного излучения с поверхностью микроструктурированных твердотельных мишеней Гожев Д.А.	165

Формирование и эволюция световой пули при филаментации мощного лазерного излучения в воздухе Швилю Д.Е.	166
Динамика образования гомоядерных молекул под действием двух гауссовских импульсов в условиях бозе-эйнштейновской конденсации Зинган А.П.	168
<b>Подсекция ОПТИКА</b>	
Метод управления лазерным технологическим комплексом на основе исследования акустических колебаний Шангараев И.Р., Звездин В.В., Галанина Н.А.	171
Исследование оптического поглощения и люминесценции пленок $Gd_3(Al,Ga)_5O_{12}$ Ce, выращенных методом жидкофазной эпитаксии из свинцоводержащих растворов-расплавов Васильев Д.А.	172
Учет ослабления формирующей оптики приемного канала при определении энергетических характеристик помехового излучения Гривцев А.И., Капитанов В.В., Циленюк В.Н.	173
ИК люминесценция в легированных висмутом халькогенидных стеклах систем Ge-S и As-Ge-S, и световодах на их основе Филипповский Д.В., Суханов М.В., Плотниченко В.Г., Соколов В.О., Вельмузов А.П., Чурбанов М.Ф., Дианов Е.М.	174
Численное моделирование процессов релаксации энергии в монокристаллах $PbMoO_4$ и $SrMoO_4$ Никитин А.Н.	176
Синглет-триплет-триплетный перенос энергии в системе родамин 6Ж-акрифлавин в матрице поливинилового спирта Цибулькина А.В., Брюханов В.В., Слежкин В.А.	178
Влияние наночастиц серебра на температурное тушение флуоресценции родамина 6Ж внешними тяжелыми атомами KJ на границе жидкость-фрактальная поверхность кремнезема Тихомирова Н.С., Васильева Л.А., Брюханов В.В., Слежкин В.А.	179
Исследование лазерно-возбуждаемой флуоресценции изотопологов молекулярного йода, возбуждаемой излучением лазера на парах меди Симановский И.Г., Сутанеев С.В., Ефимова А.Е.	181
Высокочувствительный компонентный анализ газовых смесей, образованных при сжигании отработавшего реакторного графита Соболевский И.В., Кондрашов А.А., Мамедова Г.Ш.	181
Исследование релаксации энергии в твердых растворах ортосиликата лютеция и гадолиния, активированных церием Лимонова М.В.	182
Лисковский Nd:GGG лазер с многопроходным резонатором и с трехзонной диодной накачкой Буфетова Г.А., Николаев Д.А., Пивкина М.Н., Цветков В.Б.	183
Диагностика состава скрытых объектов с помощью узкополосной терагерцовой спектроскопии временного разрешения Самотохин О.В.1, Мишин А.Н., Корниенко В.В., Китаева Г.Х., Ильин Н.А., Сигов А.С.	184
<b>Подсекция РАДИОФИЗИКИ</b>	
Нейтрализация механической инерции пробных тел в оптомеханических системах Коробко М.С.	186
Цифровой синтезатор частоты для атомных часов на парах $^{133}\text{Cs}$ Петров А.А.	187
Генератор опорных сигналов с регулировкой длительности для сверхширокополосного (СПШ) корреляционного приемника Усков Г.К., Лысенко Н.А.	188
Исследование волновых режимов бистабильной активной среды Шепелев И.А.	191
Исследование дрейфа параметров лазерных указок акустооптическим методом Пругуленко И.Г., Юхневич Т.В.	192
Полное электронное содержание измеренное в ионосфере Земли на сети ГНСС-станций расположенных вдоль геомагнитной широты стелда «Сура» Когогин Д.А., Дементьев В.О.	193
Метод измерения нелинейных упругих параметров желатина с приложением одноосного сжатия Голубкова И.И., Крит Т.Б.	195
Теоретические и экспериментальные исследования модели пузырька газа - мягкого сферического рассеивателя Анненкова Е.А., Сапожников О.А., Цысарь С.А.	197



Измерение акустооптических характеристик теллура с целью применения кристалла в акустооптических фильтрах Хоркин В.С., Хитрин Н.В.	199
Акустооптический эффект в кристалле йодноватой кислоты Купрейчик М.И., Волошин А.С.	201
Численное моделирование генерации оптических частотных гребенок и солитонов в микрорезонаторах Лихачев Г.В.	202
Метод определения высоты отражения мощных радиоволн в ионосфере во время проведения нагревных экспериментов на стенде «Сура» Деметьев В.О., Когогин Д.А.	203
Экспериментальное и теоретическое определение отношения сигнал/помеха в системе с корреляционным приемом сфокусированных термоакустических полей Логинов С.В.	204
Локализованные структуры в цепочке автогенераторов Ван-дер-Поля с гауссовой связью Никольский А.В.	206
<b>Подсекция СВЕРХПРОВОДЯЩИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ТЕЛ</b>	
Синтез и исследование монокристаллических сверхпроводящих халькогенидов железа Fe(Te,S) и Fe(Se,S) Митрофанова Е.С.	207
Влияние допирования на сверхпроводящие свойства железосодержащих сверхпроводников Кузьмичева Т.Е., Кузьмичев С.А.	208
Переходные процессы в диоде на основе неупорядоченных полупроводников в условиях дисперсионного транспорта Морозова Е.В., Сибатов Р.Т.	210
Geometry optimization and the subsurface states of nanodiamond Savchenko V.V., Zimin A.A.	212
Зависимость критических параметров ВГСП-ленты от флюоснов при облучении протонами с энергией 2.5 МэВ Юрасов А.Д., Михайлова Г.Н., Троицкий А.В., Антонова Л.Х., Дыдкин А.Ю., Демидов Т.Е., Куликаускас Хавронина М.В., Эйвазова Е.А.	213
Возможности Фурье-анализа при исследовании осцилляций Шубникова-де-Гааза Наблюдение эффекта внутренних многократных андреевских отражений и определение сверхпроводящих параметров в $\text{Sn}(\text{Th})\text{OFeAs}$ Александров Ю.А., Кузьмичева Т.Е., Кузьмичев С.А.	217
<b>Подсекция ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ</b>	
Определение степени окисления кремния и содержания кластеров кремния в пленках $\text{SiO}_x$ методом ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии Садчиков А.С., Парникова Е.В.	219
Влияние нанокристаллизации пленок $\alpha\text{-Si}_3\text{H}$ , $\text{SiO}$ и $\text{Si}_3\text{N}_4$ на их электрофизические свойства Шулейко Д.В.	220
Фотопроводимость нанокристаллического оксида индия Ситников И.А., Ильин А.С.	222
Электронно-лучевая эпитаксия слоев $\text{SiC}$ и твердых растворов на его основе $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ Касумов З.К.	223
Исследование лазерно-индуцированного разогрева кремниевых нанонитей методом спектроскопии комбинационного рассеяния света Родичкина С.П.	225
Фото- и термостимулированная проводимость сульфоселенида кадмия, легированных рубидием Билалов А.Б.	227
Формирование наночастиц кремния при абляции под действием фемтосекундных лазерных импульсов в атмосферах воздуха и гелия Кашаев Ф.В.	228
Метод оценки положения единичного ловушечного заряда в оксидном слое наноразмерного МОП транзистора Худайбергенов Т.А., Сапаров Х., Матякубов Х., Атамуратов Т.А.	230
Кремниевый нанопровод как основа высокочувствительных полевых и зарядовых сенсоров Божьев И.В., Ржевский А.В., Корс А.Ю., Преснов Д.Е., Крупенин В.А.	231
Чувствительность фотолуминесцентных свойств кремниевых нанонитей к их молекулярному окружению Горгобиани В.А.	232

Структурные и оптические свойства нанокристаллов кремния и карбида кремния, полученных прямым ионным осаждением Федоренко А.А.	234
<b>Подсекция ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ</b>	
Дисперсия собственных волн в слабoreлятивистской бесспиновой плазме с учетом дарвиновского члена Иванов А.Ю.	236
Особые точки в сверхкритической области вещества Михальчук Е.В.	237
Ионизация инертных газов когерентным излучением X-FEL Воронина А.А.	237
<b>Подсекция ФИЗИКИ МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ</b>	
Исследование рельефа поверхности тонких пленок феррит-гранатов, выращенных ионным распылением Просьяков А.С.	239
Структурные и магнитные свойства «толстых» $\text{Fe}_{31}\text{Co}_{14}\text{Ni}_{10}(\text{SiB})_{23}$ аморфных микропроводов, полученных методом Улитовского-Тейлора Харламова А.М.	240
Структурное состояние и магнитотепловые свойства тербия, подверженного быстрой закалке из расплава Звонов А.И., Смаржевская А.И., Карпенков Д.Ю., Карпенков А.Ю.	241
Магнитные свойства $\text{HoGa}_2(\text{BO}_3)_4$ Бегунов А.И.	243
Особенности процессов намагничивания ансамбля магнитных наночастиц взвешенных в парафине Испирян А.Г.	244
Возможности измерения слабых магнитных полей нутационным методом Карсеев А.Ю.	246
Построение S-T диаграмм сплавов $\text{La}(\text{Fe},\text{Si})_2$ и анализ циклов магнитного охлаждения на их основе Балбихина О.В., Карпенков А.Ю., Кондратьева У.А., Карпенков Д.Ю.	247
Высокополевые исследования намагниченности $\text{RFe}_{11}\text{Ti}$ и $\text{RFe}_{11}\text{TiH}$ ( $\text{R} = \text{Th}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}$ ) Пелевин И.А., Терешина Е.А.	249
Исследование магнитокалорического эффекта в сплаве Гейслера Павлович С.Ю., Родионов И.Д.	250
Хладоемкость рабочего тела магнитного рефрижератора, методы ее расчета и способы увеличения (на примере гадолиния) Чжан В.Б., Политова Г.А., Терешина Е.А.	252
Влияние спин-орбитального взаимодействия на спиновый транспорт Титова М.С.	253
Изучение экспериментальной зависимости вязкостных характеристик магнитных жидкостей при воздействии внешнего магнитного поля Белых С.С., Гладких Д.В.	255
Структурообразование в тонком слое магнитного коллоида при воздействии электрического поля Коробов М.И.	256
Вариации электростатического поля во время метели Уварова А.О.	257
Особенности механизма взаимодействия элементов метаматериала в различных конфигурациях при малых расстояниях в ГТЦ диапазоне Петров П.С.	258
Моделирование гигантского магнитосопротивления в многослойной структуре в диффузной модели Леви и Ферта и приближении "Макроспин" Гриценко Ю.В.	259
Структурирование в магнитных коллоидах с намагниченными агрегатами Гладких Д.В., Колесникова А.А.	260
Влияние термомангнитной обработки на свойства аморфных сплавов типа 2НСР Кадьшев Д.И.	262
Изучение экспериментальной зависимости эффекта двойного лучепреломления в слабоконцентрированных магнитных жидкостях под действием электрического и магнитного полей Завертьев А.Г., Ерин К.В.	263
Экспериментальное исследование магнитной восприимчивости магнитной жидкости в ультразвуковом поле Хачатурян И.А.	264
Трехмерное моделирование динамики наноразмерной ферромагнитной пленки под действием спин-поляризованного тока в приближении Жанга и Ли Лобачев А.В.	265
Индукционная анизотропия магнитоэластиков с малой концентрацией магнитной компоненты Логинова Л.А.	266