

# Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№ 2 • 2014 • МАРТ–АПРЕЛЬ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

### Обзор

#### Радиофизика, электроника, акустика

- Гордиенко В.А.*, *Гордиенко Т.В.*, *Краснописцев Н.В.*, *Некрасов В.Н.* Векторно-фазовые методы и создание перспективных акустических систем нового поколения ..... 3

#### Теоретическая и математическая физика

- Бабенко С.П.*, *Бадьин А.В.* Верификация математической модели, описывающей воздействие на организм человека гексафторида урана на предприятии атомной промышленности ..... 22
- Николаев П.Н.* Параметризованное уравнение состояния для области между критической и сверхкритической изотермами и потенциал взаимодействия ..... 31
- Жуковский В.Ч.*, *Степанов Е.А.* Индуцированный ток и прохождение через барьер в четырехфермионной модели с 2+1 измерениями ..... 36
- Николаев П.Н.* Особые точки и фазовая диаграмма сверхкритической области веществ ... 43

#### Физика атомного ядра и элементарных частиц

- Буркерт В.*, *Головач Е.Н.*, *Исупов Е.Л.*, *Ишханов Б.С.*, *Мокеев В.И.*, *Петрунькин Г.В.*, *Скородумина Ю.А.*, *Федотов Г.В.* Оценка интегральных сечений реакции  $\gamma + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + p$  в резонансной области при виртуальностях фотонов от 5 до 12 ГэВ<sup>2</sup> .. 49
- Белюсов А.В.*, *Близнюк У.А.*, *Борщеговская П.Ю.*, *Осипов А.С.* Биологическая эффективность рентгеновского излучения ..... 55

#### Радиофизика, электроника, акустика

- Шахпаронов В.М.* Методики решения системы нелинейных уравнений колебаний для определения гравитационной постоянной ..... 60

**Физика конденсированного состояния вещества**

*Авдюхина В.М., Акимова О.В., Левин И.С., Ревкевич Г.П.* Изменение структурного состояния  $\alpha$ -фазы в системе Pd–In–H в процессе  $\beta \rightarrow \alpha$ -превращения ..... 67

*Воробьев А.В., Гаврилова Н.Д., Лотонов А.М.* Динамика релаксационных процессов монокристалла триглицинселената в сегнетофазе ..... 73

*Константинова Е.А., Ле Н.Т., Кашкаров П.К., Зайцева А.А., Кытин В.Г.* Исследование фотоэлектронных свойств легированного азотом и углеродом нанокристаллического диоксида титана. .... 78

**Химическая физика, физическая кинетика и физика плазмы**

*Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Бородаев И.А., Стребков Е.В., Хубатхузин А.А.* Влияние ВЧ-плазменной обработки при пониженном давлении на проницаемость полиуретанового нанокompозита ..... 83

**Биофизика и медицинская физика**

*Гордиенко В.А., Гордиенко Т.В., Задорожный С.С., Исaiчев С.А., Учаев А.В., Амосов М.А.* Некоторые особенности восприятия слуховыми нейронами низкочастотных сигналов ..... 88

**Физика Земли, атмосферы и гидросферы**

*Юшков В.П., Юшков Е.В.* Ортогональные функции турбулентных флуктуаций в атмосфере Земли ..... 98

## ОБЗОР РАДИОФИЗИКА, ЭЛЕКТРОНИКА, АКУСТИКА

### Векторно-фазовые методы и создание перспективных акустических систем нового поколения

В. А. Гордиенко<sup>1</sup>, Т. В. Гордиенко<sup>1,a</sup>, Н. В. Краснописцев<sup>2,b</sup>, В. Н. Некрасов<sup>2,c</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра акустики. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

<sup>2</sup>ФГУП ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений. Россия, 141570, Московская обл., Солнечногорский р-н, п/о Менделеево.

E-mail: <sup>a</sup>tan-gor@mail.ru, <sup>b</sup>lab21@vniiftri.ru, <sup>c</sup>nvn@vniiftri.ru

Статья поступила 05.09.2013, подписана в печать 04.12.2013.

Обсуждаются результаты теоретических и экспериментальных исследований, цель которых — обоснование потенциальных возможностей векторно-фазовых методов при решении различных прикладных задач гидроакустики. Эти исследования во многом способствовали активному внедрению векторно-фазовых методов в практику гидроакустических измерений. Преимущества векторно-фазовых методов, особенно в гидроакустике, проявляются прежде всего при существенном ограничении области пространства для размещения их в среде. В случае размещения одиночного комбинированного приемного модуля (КПМ) имеет место качественный скачок, который состоит в появлении нового «качества» у точечной приемной системы — возможности определения местоположения источника звука. Другая особенность использования КПМ — возможность применения принципиально новых (по отношению к системам на базе гидрофонов) алгоритмов обработки информации, основанных на прямом измерении потока акустической энергии (мощности), т. е. выделении той ее части, которая обусловлена анизотропией поля или наличием в среде сосредоточенных источников.

*Ключевые слова:* векторно-фазовые методы, векторный приемник, комбинированный приемник, поток акустической мощности, вектор Умова, локализация источников звука, помехоустойчивость, сонографический анализ высокого разрешения, метрология векторно-фазовых методов, высокочастотная геоакустическая эмиссия.

УДК: 534.322: 534.8: 534.6. PACS: 43.30.Wi, 43.28.Tc, 43.58.Fm.

#### Введение

Наметившаяся в последнее время как в нашей стране, так и за рубежом тенденция увеличения интереса к малогабаритным гидроакустическим системам, включающим одновременно приемник акустического давления (ненаправленный гидрофон) и векторный приемник (ВП) [1], связана с тем, что известные методы и алгоритмы, основанные на использовании информации, регистрируемой только приемниками давления, достигли своих предельных возможностей в плане регистрации сигналов локальных источников с соотношениями сигнал/шум на входе, существенно меньшими единицы. Такие малогабаритные приемные системы обычно называют комбинированными приемными модулями (КПМ) или комбинированными приемниками (КП), если ненаправленный гидрофон и ВП совмещены в одном корпусе, а концепция, лежащая в основе используемых при этом методов обработки сигналов, — концепцией векторно-фазовых методов (ВФМ).

В широком смысле *концепцией векторно-фазовых методов* мы будем называть подход к решению акустических задач, не накладывающий обязательных условий потенциальности на поле, основанный на одновременной регистрации с помощью приемников давления (ПД) и векторных приемников в фиксированных точ-

ках пространства поля давления и его градиента (или колебательной скорости).

Основу этих методов заложил еще Н. А. Умов в своей докторской диссертации (1905), в которой указывал на важность характеристики акустического поля, получаемой путем перемножения мгновенных значений давления в волне и колебательной скорости (КС) частиц среды, известной сегодня как вектор Умова (введен в 1874 г.).

Несмотря на такой большой «стаж» направления, оно не только не исчерпало себя, но и получает все новые приложения в различных областях акустики. Причина в том, что идея подходов к анализу акустических полей, заложенная в векторно-фазовых методах, гораздо богаче и информативнее традиционных подходов, основанных на измерении параметров лишь поля акустического давления.

Долгое время при решении практических задач акустики такая характеристика поля, как вектор Умова, не была востребована из-за неясности самих физических аспектов формирования поля потоков акустической энергии в «сложной» волне, хотя некоторые частные методы, основанные на таких измерениях, давно используются в воздушной акустике. Например, фирма «Брюль и Кьер» уже более 30 лет выпускает интенсивметр для локализации источников шума в атмосфере (типы 3360 и 4433) [2].